



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Titulació:

ENGINYERIA EN SISTEMES AUDIOVISUALS

Alumne:

RICARD BENÍTEZ BALAÑÀ

Enunciat TFG:

ESTUDI I DISSENY D'UN DETECTOR DE CAMP ELECTROMAGNÈTIC
WEARABLE

Director del TFG:

IGNACIO GIL GALI

Convocatòria de lliurament del TFG:

10 DE JUNY DE 2019

Resum

Aquest projecte aborda l'estudi i el disseny d'un detector de camps electromagnètics wearable. En concret, un d'orientat a particulars i empreses que tinguin la necessitat de conèixer el nivell de radiacions electromagnètiques que incideixen sobre l'usuari que en fa ús.

L'estructura de l'estudi s'ha dividit en diferents seccions per poder definir específicament tots els factors que el componen.

S'inicia amb una introducció per evidenciar la importància de conèixer l'exposició de radiacions electromagnètiques en la que ens trobem sotmesos a diari i com afecten a la nostra salut. Seguidament, s'analitzen diferents dispositius amb característiques semblants que ja existeixen en el mercat i es posa en relleu en quins punts destaca la idea d'un detector integrat a la roba respecte els dispositius ja existents.

S'introdueixen factors teòrics sobre l'electromagnetisme i seguidament es descriu el hardware i el software utilitzat. S'exposen els passos seguits per a la elaboració del prototip i el codi del programa que l'equipa.

Es fa referència a la metodologia seguida per a la validació de les dades rebudes del prototip comparant-lo amb un detector de camps electromagnètics professional. S'elabora un estudi de producte on es pensen les millores necessàries per a poder obtenir un dispositiu utilitzable còmodament, com la de dissenyar una carcassa amb l'ús de solidworks i les impressores 3D. Una vegada finalitzat s'analitza el pressupost i s'exposen futures millores.

La conclusió es basa en que la producció d'un detector de camps electromagnètics integrat a la roba és factible i tindria un lloc en el mercat perquè compleix tot un seguit de característiques que actualment no aporten altres dispositius.

Abstract

This project addresses the study and design of a electromagnetic fields detector, which can be worn on clothes. In particular, one oriented to particular and businesses that have the need to know the level of electromagnetic radiation that affects the user.

The structure of the study has been divided into different sections to be able to define specifically all the factors that make it up.

It begins with an introduction to show the importance of knowing the exposure of the electromagnetic radiation in which we are subjected daily. Next, different devices with similar features that are available on the market are being announced and highlighting in which points emphasizes the idea of a detector wearable in front of the existing devices.

It introduces factors about electromagnetism and then, describes the hardware and software used. The steps followed are followed by the elaboration of the prototype and the code of the program that equips it.

The document also refers to the methodology followed for the validation of the received data that were compared to a professional electromagnetic field detector. The product study is provided with the necessary improvements to obtain a device that can be used comfortably, like the design of a plastic case made by solidworks and 3D printers. Once it's finished, the budget is analyzed and future improvements are detailed.

The conclusion is that the production of a wearable electromagnetic field detector is feasible and it would have a place in the market, because it meets a follow-up of requirements that actually do not have other devices.

Índex

1	Introducció	7
1.1	Presentació.....	7
1.2	Estat de l'Art.....	7
1.2.1	Anàlisi de solucions de mercat.....	8
1.3	Objectius	11
2	Conceptes teòrics.....	12
2.1	Definicions clau	12
2.2	Camp proper i camp llunyà	13
2.3	Camp electromagnètic	14
3	Radiació Electromagnètica	15
3.1	Ionitzant i no ionitzant	16
3.2	Normatives	18
4	Elaboració del prototip.....	22
4.1	Hardware.....	22
4.1.1	Especificacions del hardware utilitzat.....	23
4.2	Software	26
4.2.1	Descripció del programari utilitzat.....	26
4.3	Descripció de l'elaboració del prototip	27
5	Validació	34
5.1	WaveControl SMP2	34
5.2	Calibratge de les mesures	35
5.3	Determinació del llindar de detecció del camp electromagnètic	39
6	Disseny de producte.....	41
6.1	Wearable	41
6.2	Pràctic (Càrrega per USB)	44
6.3	Avís/senyalització de presència d'un camp electromagnètic	45
6.4	Carcassa a mida (impressora 3D)	46
7	Estudi de producte	51
7.1	Ubicació	51
7.2	Cost de producció.....	51
7.3	Públic objectiu	52
8	Pressupost	54
9	Futures línies	55
10	Conclusions	56
11	Bibliografia	57

Índex d'Il·lustracions

Figura 1: Mesurador de camps electromagnètics Extech EMF450.....	9
Figura 2: Gigahertz Solutions HFW35C	10
Figura 3: Gigahertz Solutions NFA400.....	10
Figura 4: WaveControl SMP2	10
Figura 5: Diagrama de l'espectre electromagnètic	13
Figura 6: Representació del camp electromagnètic.....	14
Figura 7: Representació de la radiació electromagnètica	15
Figura 8: Classificació radiació ionitzant i no ionitzant	16
Figura 9: Senyalització perill radiació ionitzant.....	17
Figura 10: Senyalització perill radiacions no ionitzants	17
Figura 11: Intensitat del camp elèctric – ICNIRP	20
Figura 12: Intensitat del camp magnètic – ICNIRP	20
Figura 13: Cable coaxial amb connector SMA.....	22
Figura 14: Components varis per al muntatge	23
Figura 15: Microcontrolador FLORA.....	23
Figura 16: Diagrama de connexions d'entrada i sortida de la placa FLORA.....	24
Figura 17: Antena wearable	25
Figura 18: Diagrama de radiació de l'antena	26
Figura 19: Instal·lador dels drivers	27
Figura 20: Llibreries instal·lades	28
Figura 21: Primera versió del prototip	28
Figura 22: Primera versió del codi.....	29
Figura 23: Segona versió del prototip	29
Figura 24: Esquema cable i resistència	29
Figura 25: Segona versió del codi.....	30
Figura 26: Esquema amb el LED	31
Figura 27: Tercera versió del prototip.....	31
Figura 28: Tercera versió del codi	32
Figura 29: Connector SMA femella.	32
Figura 30: Aproximació de connector mascle SMA.....	32
Figura 31: Cable coaxial.....	33
Figura 32: Connexió entre la placa i l'antena wearable	33
Figura 33: Vista de les opcions de selecció del detector SMP2	34
Figura 34: Contingut de la caixa del detector SMP2	35
Figura 35: Ubicació de la mesura 1	36
Figura 36: Resultats de la mesura 1 amb el SMP2	36
Figura 37: Resultats mesura 1 amb el prototip.....	36
Figura 38: Ubicació de la mesura 2	37
Figura 39: Resultats de la mesura 2 amb el SMP2	37
Figura 40: Resultats de la mesura 2 amb el prototip	37
Figura 41: Ubicació de la mesura 3	38
Figura 42: Resultats de la mesura 3 amb el SMP2	38
Figura 43: Resultats de la mesura 3 amb el prototip	38
Figura 44: Gràfic del prototip	39
Figura 45: Gràfic equip professional	39

Figura 46: Bateria ideal	42
Figura 47: Bateria utilitzada	42
Figura 48: Connector desmuntat	43
Figura 49: Pin ajustat i aïllat	43
Figura 50: Premsa del connector	43
Figura 51: Conjunt dels dos pins ajustats i aïllats.....	43
Figura 52: Connexió final bateria-adaptador	43
Figura 53: Adaptador bateria - USB.....	44
Figura 54: Indicador càrrega en procés.....	44
Figura 55: Indicador càrrega finalitzada.....	44
Figura 56: Muntatge cable JST-JST 1	45
Figura 57: Muntatge cable JST-JST 2	45
Figura 58: Muntatge cable JST-JST 3	45
Figura 59: Disseny de la senyalització	45
Figura 60: Muntatge senyalització 1	46
Figura 61: Muntatge senyalització 3	46
Figura 62: Muntatge senyalització 2	46
Figura 63: Conjunt del detector	46
Figura 64: Esbós de la disposició interna de l'aparell.....	48
Figura 65: Cara A representació de la rosca.....	48
Figura 66: Cara A punt de vista general	49
Figura 67: Cara A punt de vista dels forats	49
Figura 68: Problema de connexió USB-Adaptador.....	49
Figura 69: Solució connexió USB-Adaptador.....	49
Figura 70: Rosca de la cara B.....	50
Figura 71: Cara B punt de vista general	50
Figura 72: Cara B punt de vista del pla.....	50
Figura 73: Indicador LED de barra	55

Índex de taules

Taula 1: Classificació de les ones electromagnètiques	15
Taula 2: Tipus d'afectacions al cos humà per rang de freqüències.....	16
Taula 3: Límits d'exposició recomanats per la ICNIRP.....	18
Taula 4: Límits d'exposició per al públic general.....	19
Taula 5: Límits per la exposició ocupacional	21
Taula 6: Comparació de les tres mesures obtingudes	39
Taula 7: Càlcul de calibratge	40
Taula 8: Límit d'intensitat del camp elèctric per a la freqüència de l'antena	41
Taula 9: Càlcul del cost de producció d'una unitat	52

1 Introducció

1.1 Presentació

Avui en dia tothom té un mòbil, un smartwatch o un dispositiu que treballa a altes freqüències sempre al damunt, cada vegada estem més envoltats de nova tecnologia i això només anirà en augment.

Segons **We Are Social**^[1], al 2017 ja hi havien més de 4,9 mil milions de usuaris de mòbils, dels quals 3,7 mil milions amb accés a internet. Això són 1,5 mil milions més respecte l'any anterior. D'aquestes xifres no se n'allunyen ni els ordinadors ni els smartwatches.

Degut a aquest increment la demanda elèctrica ha augmentat, les tecnologies sense fils tenen un progrés continuat i els canvis en les pràctiques de treball i el comportament social és un fet innegable, ja que cada vegada aquest entorn és més estandarditzat.

Aquestes dades poden ser motiu de preocupació per a algunes persones que no saben fins on ens pot portar aquest constant creixement i com pot afectar al nostre cos estar envoltat en cada moment de les radiacions electromagnètiques que radien aquests aparells.

A més a més, ens toca de prop ja que Espanya és actualment el sisè país amb més mòbils en relació als habitants. També és el dispositiu més utilitzat per a accedir a internet, utilitzat ja pel 97% de la població espanyola.

Aquests factors són els que impliquen que cada vegada estiguem sotmesos a més radiacions d'ones electromagnètiques a altes freqüències en tot moment. Aquest projecte es centra en idear un dispositiu que pugui determinar quan una persona s'està sotmetent a un camp electromagnètic, de manera instantània i amb la possibilitat d'estar en moviment.

L'objecte d'aquest TFG és implementar un equip que es pugui portar sempre al damunt integrat a una peça de roba, de manera que des de qualsevol punt es pugui saber que s'està dins d'un nivell de radiació electromagnètica. Existeixen uns límits d'exposició que no s'haurien de superar per a mantenir la màxima seguretat possible.

1.2 Estat de l'Art

Actualment està demostrat que els camps electromagnètics, depenent de la intensitat i la freqüència, poden ser més o menys perjudicials per a la salut a curt o llarg termini. Els efectes a curt termini solen tenir una afectació al escalfament dels teixits superficials, i a llarg termini s'investiga entre la possibilitat d'un nexe entre els tumors cerebrals i el llarg ús dels telèfons mòbils, tal com esmentant estudis realitzats per la **OMS**^[2]. Es per això que existeix una llei de regulació de les emissions de radiació electromagnètica.

Aquesta regulació no està orientada a vetar l'ús dels telèfons mòbils als particulars quan s'està excedint un cert nivell d'electromagnetisme en un lloc, està orientada a grans fonts puntuals

que poden tenir un impacte a curt termini. Una estació radioelèctrica situada en un punt proper a la població en podria ser un bon exemple.

Per aquest motiu existeix una comissió internacional especialitzada en la protecció contra la radiació no ionitzant, que en anglès corresponen a les sigles **ICNIRP**^[3].

La missió de la ICNIRP és avaluar el coneixement científic i les troballes recents per proporcionar orientació de protecció contra la radiació no ionitzant (radio, microones...). En general, tots els països de la Unió Europea han adoptat les directrius que proposen i les han adherit al seu propi marc regulador, tant pel que fa a la protecció pública com als treballadors, davant dels afectes adversos de salut causats per la exposició a aquesta radiació electromagnètica.

El creixement continuat de les noves tecnologies omple l'espai amb més radiacions. Aquest fet podria preocupar a un determinat públic, que sense saber encara com pot reaccionar el nostre cos, voldria saber en cada moment si està sota una exposició controlada i dins dels límits de seguretat dictats per la Organització Mundial de la Salut en conjunt amb la ICNIRP.

1.2.1 Anàlisi de solucions de mercat

En l'actualitat existeixen molts mesuradors de camps electromagnètics. N'hi ha de bàsics, de semi-professionals i de professionals. El que distingeix cadascuna d'aquestes tres categories és la precisió i el rang de freqüències que detecta.

Per norma general, els més bàsics i, tanmateix, assequibles, seran mesuradors orientats sobretot a la detecció de camps a baixes freqüències i amb unes precisions inferiors.

A partir dels equips semi-professionals ja comencem a tenir l'opció d'escollir la freqüència a la que volem detectar ja sigui canviant d'antena receptora o digitalment.

De totes maneres, fins i tot els detectors més bàsics solen tenir un cost per sobre dels 350 € i els equips més professionals poden arribar a costar més de 8000 €. Aquests preus venen donats perquè el que volem obtenir amb aquests equips és un valor precís de radiació electromagnètica que incideix en un punt concret de l'espai. Però es podria donar el cas en que no busquéssim precisió, ni tan sols saber el valor en exactitud, senzillament obtenir una senyal visual o acústica en el moment en que s'està detectant un camp electromagnètic superior a algun llindar determinat.

Aquesta idea pot ser útil per a empreses que tenen un control anual sobre el compliment de la normativa d'emissions electromagnètiques, al públic en general que pot estar dins l'àrea d'afectació de la font o a particulars que volen saber si a la seva llar s'està excedint un nivell determinat de radiació electromagnètica, però no li donen suficient importància com per gastar-se tants diners en un mesurador.

És per això que es planteja l'opció de poder crear un detector de camps electromagnètics molt bàsic, però alhora essent competitiu en termes de cost. Es requereix elaborar un equip que detecti si es supera un cert nivell d'intensitat electromagnètica gràcies a la comparació dels resultats que obté aquest amb els que mesura un equip professional. D'igual manera, no és

requereix informar l'usuari del valor en que es troba, així que també es pot estalviar la pantalla i canviar-la per una senyalització visual o acústica, fet que tanmateix abaratiria el cost.

Havent realitzat un estudi dels equips que existeixen actualment, no se n'ha trobat cap que tingui les prestacions que ofereix el dispositiu pel cost que pot assolir. A més, no tenim referències de cap detector que hagi estat incorporat a una peça de roba.

Podem trobar detectors molt compactes, però segueixen estant orientats a ser sostinguts amb una mà i estar alerta del que s'està enregistrant per pantalla. No existeix en el mercat un dispositiu que t'avisi quan s'assoleix cert nivell, permetent despreocupar-te'n fins al punt que puguis realitzar tot tipus de feines sense haver d'estar pendent ni assabentar-te que el duus.

L'equip més similar a les característiques que es busca incorporar trobat ha estat el mesurador de camps electromagnètics **Extech EMF450**^[4] (Figura 1). Aquest equip té un pes de 122 grams i una mida de 11,4 x 6,1 x 2 centímetres. Per tant, és un equip molt lleuger i compacte el qual podem manipular de manera molt còmode, funciona amb piles i té la peculiaritat de disposar d'una alarma per quan se'n sobrepassa cert nivell, cosa que podria permetre dur-lo sense haver d'estar-ne pendent i si en qualsevol moment estiguéssim en un punt de l'espai dins un camp d'elevada intensitat aquest ens avisaria amb una alarma. De totes maneres, no està pensat per això ja que l'antena perdria molta precisió i abast d'acció al guardar-lo a la butxaca.



Figura 1: Mesurador de camps electromagnètics Extech EMF450

Seguidament, s'exposaran alguns dels dispositius de mesura de camps electromagnètics avançats actuals, de diferents categories i usos per veure la varietat que existeix.



Figura 2: Gigahertz Solutions HFW35C

Gigahertz Solutions HFW35C^[5] (Figura 2) és un detector de camps electromagnètics d'alta freqüència, concretament del rang dels 2,4 als 6 GHz, per tant es troba dins les bandes del Wi-Fi, el bluetooth i altres tecnologies.

Aquest equip té una precisió de ± 6 dB i enregistra el valor pic i el mitjà.

Compta amb una peculiaritat, té l'opció de, a través de senyals acústics que segueixen la intensitat, poder indicar la direcció des d'on l'emissor està irradiant ones electromagnètiques. Ara bé com un detector de metalls.



Figura 3: Gigahertz Solutions NFA400

Gigahertz Solutions NFA400^[6] (Figura 3) és un equip professional que mesura camps elèctrics i magnètics en el rang de freqüències de 5 Hz a 400 kHz. Per tant, no està destinat a la detecció de camps electromagnètics d'alta freqüència.

Té una precisió de $\pm 5\%$ entre 50 i 60 Hz, de ± 1 dB dels 16 Hz als 30 kHz i de ± 2 dB entre 5 Hz i els 400 kHz.

Aquest mediador pot guardar les dades (fins a 10 per segon) a una targeta SDH.



Figura 4: WaveControl SMP2

WaveControl SMP2^[7] (Figura 4) és un mesurador de camps electromagnètics que disposa de diferents sondes depenent de l'ample de banda que vol mesurar, assolint tots els rangs de freqüències possibles amb més de 6 sondes diferents a escollir per cobrir el rang d' 1 Hz als 40 GHz.

Aquest detector pren mesures d' ample de banda i anàlisi espectral, el qual genera la FFT a temps real.

A més a més, compta amb un software personalitzat per poder veure totes les mesures que s'han fet.

1.3 Objectius

Resumint, l'objectiu principal del projecte és l'elaboració d'un sistema o equip de detecció i mesura de camps electromagnètics incorporat a la roba per a l'àmbit de la seguretat. Aquest equip es realitzarà amb una antena wearable, preparada per incorporar-la en una peça de roba amb molta facilitat i amb una placa base també dissenyada per a aplicacions wearables.

Aquest sistema podria ser útil per comprovar el nivell d'exposició a què algunes persones poden estar sotmeses en camps electromagnètics i per corroborar el compliment de diferents normatives en empreses respecte la radiació electromagnètica en què els treballadors o públic en general puguin estar sotmesos.

La intenció del projecte no és aconseguir una gran precisió amb detall de la potència del camp electromagnètic que estem detectant, ja que això seria molt costós, tenint en compte que els equips actuals de precisió professionals tenen un cost de l'ordre dels 8.000 €. La nostra aplicació estarà orientada en saber si estem rebent un camp electromagnètic significatiu, determinant un llindar, enlloc de saber la magnitud d'aquest. D'aquesta manera, podem elaborar un prototip amb un pressupost molt més reduït i amb la possibilitat d'estar en tot moment detectant i des d'un punt mòbil. Aquest llindar podrà ser programat en funció de l'antena que hi col·loquem i de la magnitud la qual no volem sobrepassar. L'objectiu es reduir el cost en dos ordres de magnitud aproximadament en comparació als equips professionals. Comptant en els adients estalvis en el hardware degut a l'obtenció dels components a gran escala.

2 Conceptes teòrics

En aquest apartat seran definits els conceptes necessaris per a la comprensió i realització d'aquest projecte. Aquests conceptes són els de camp magnètic, camp elèctric i la intensitat d'aquests.

2.1 Definicions clau

Camp elèctric

El camp elèctric es defineix com a força elèctrica per a unitat de càrrega. El camp elèctric es dirigeix radialment cap a l'interior d'una càrrega puntual negativa.

L'origen d'un camp elèctric es troba en l'alteració que produeix una càrrega elèctrica en l'espai. Aquesta càrrega elèctrica modifica les propietats físiques de l'espai, donant lloc a un camp elèctric. Quan s'introdueix en el camp en qüestió una altra càrrega, aquesta experimenta una força.

Intensitat del camp elèctric

És una magnitud vectorial (E) que representa la força elèctrica que actua per unitat de càrrega positiva situada en un punt de l'espai. S'expressa en (V/m).

Camp magnètic

Un camp magnètic és produït per corrents elèctriques, les quals poden ser corrents microscòpiques en cables o corrents microscòpiques associades amb els electrons en òrbites atòmiques. Aquest es defineix en funció de la força exercida sobre les càrregues mòbils en la llei de Lorentz.

Intensitat del camp magnètic

És una magnitud vectorial (H) que representa la força que té un camp en qualsevol punt de l'espai. S'expressa en (A/m).

Densitat de potència

És una magnitud vectorial que indica la potència per unitat de superfície en la direcció de propagació del senyal electromagnètic. Aquesta magnitud s'expressa en (W/m^2). La densitat de potència és igual al producte de la intensitat elèctrica per la magnètica.

Espectre electromagnètic

L'espectre electromagnètic és el conjunt d'ones electromagnètiques conegudes. Aquestes són classificades segons la freqüència, la longitud d'ona o l'energia. El diagrama típic de l'espectre electromagnètic mostra el tipus de banda espectral que trobem per a cada freqüència, que augmenta d'esquerra a dreta, a mesura que disminueix la longitud d'ona, tal com es mostra a la Figura 5.

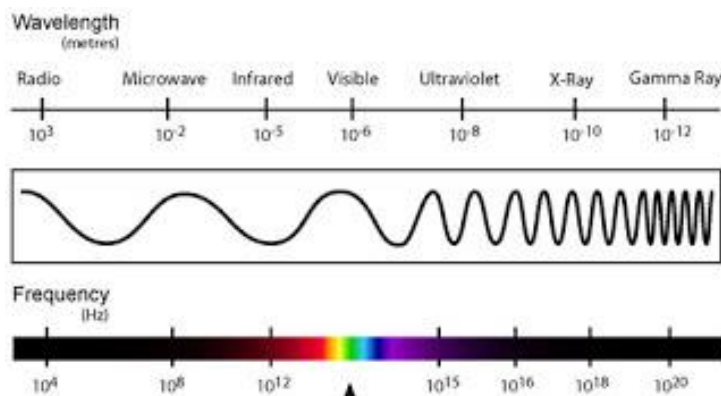


Figura 5: Diagrama de l'espectre electromagnètic

2.2 Camp proper i camp llunyà

Quan els enginyers de disseny electrònic han de realitzar proves de pre-avaluació de compatibilitat electromagnètica a un nou prototip han de saber localitzar si el generador de les fonts d'interferència electromagnètica estan dins el camp proper o del camp llunyà. Els termes **camp proper** i **camp llunyà** descriuen els camps al voltant d'una antena o, generalment, de qualsevol font d'electromagnetisme.

Camp proper comprèn la regió de l'espai on l'ona electromagnètica posseeix un camp conservatiu, on la relació entre camp magnètic i elèctric no és constant i igual a la impedància intrínseca del buit, que és d'aproximadament $Z_0 \approx 377 \Omega$. Per tant, es parlaria d'una radiació on el camp elèctric (E) o el magnètic (H) és predominant.

Considerem que un camp magnètic és predominant en el camp proper quan el resultat de E/H és menor als 377Ω de la impedància esmentada anteriorment, aquest cas es dona si el generador té una forta intensitat elèctrica i una baixa tensió. El cas en què el camp elèctric és predominant és el contrari, el trobem quan la diferència entre camps E/H dona com a resultat un nombre major a la constant de 377Ω , corresponent a la situació en què el generador té una alta tensió i una baixa intensitat elèctrica.

Camp llunyà és la regió de l'espai on el camp elèctric i el magnètic s'atenuen proporcionals a $1/d$ on d és la distància entre el generador i el receptor. Per ser camp llunyà, l'ona electromagnètica ha de complir la propietat on el resultat de E/H sigui igual a la impedància intrínseca del buit (377Ω). A més, entre les ones que componen l'electromagnètica hi ha 90° .

La densitat de potència al camp llunyà es pot considerar, per tant com es mostra a la equació següent (1).

$$S = E * H = \frac{E^2}{377} = 377 * H^2 \quad (1)$$

2.3 Camp electromagnètic

Un camp electromagnètic (CEM) és un camp físic de tipus tensorial, produït per la presència d'objectes carregats elèctricament. Aquest camp s'estén indefinidament a través de l'espai i afecta el comportament dels objectes. Un camp electromagnètic pot ser vist com la combinació d'un camp elèctric amb un camp magnètic. L'elèctric produeix les càrregues estacionàries i el magnètic, les càrregues en moviment, tal com es mostra a la Figura 6.

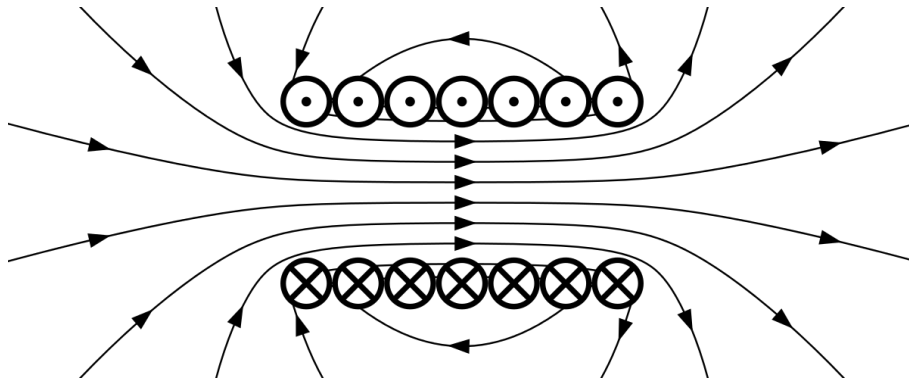


Figura 6: Representació del camp electromagnètic

Al medi on vivim, hi ha camps electromagnètics per totes parts, però no són visibles per l'ull humà a excepció del rang de llum visible. De manera natural, es produeixen camps elèctrics a causa de l'acumulació de càrregues elèctriques en determinades zones de l'atmosfera per l'efecte de les tempestes. El camp magnètic terrestre provoca l'orientació de les agulles dels compassos en direcció nord-sud i tant els ocells com els peixos l'utilitzen per a orientar-se.

3 Radiació Electromagnètica

En aquest apartat es detallaran el concepte de radiació electromagnètica, distinció entre un camp electromagnètic ionitzant i no ionitzant i les normatives vigents responsables de controlar les emissions radiades de l'electromagnetisme.

La radiació electromagnètica és resultat de la combinació de d'ones elèctriques i ones magnètiques oscil·lants que es propaguen d'un punt a un altre de l'espai transportant energia. A grans trets, és la propagació dels camps electromagnètics. Aquesta fusió de camps pot ser representada en forma d'ona transversal. Tal com mostra la Figura 7. Aquests es propaguen formant angles rectes entre ambdues components.

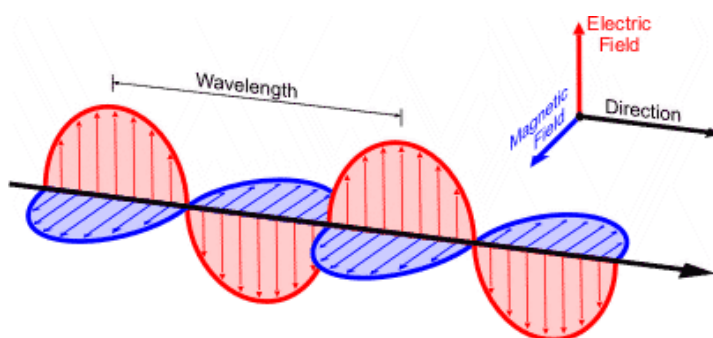


Figura 7: Representació de la radiació electromagnètica.

Classifiquem les ones electromagnètiques en diferents noms depenent de la seva posició dins l'espectre electromagnètic. A la Taula 1 podem veure tots els rangs de freqüència amb la seva corresponent denominació. Al costat, podem apreciar els serveis on es treballa amb cadascun d'aquests rangs de freqüències.

Denominació	Rang de freqüència	Serveis on actuen
VLF	9 a 30 kHz	Escalfament per inducció
LF	30 a 300 kHz	Escalfament per inducció industrial, radiodifusió AM
MF	300 a 3.000 kHz	Ràdio AM, escalfament per inducció industrial
HF	3 a 30 MHz	Forces armades, radiodifusió
VHF	30 a 300 MHz	PMR, TV, forces armades, radiodifusió FM, serveis aeronàutics
UHF	300 a 3.000 MHz	TV, GSM, DCS, DECT, UMTS, Bluetooth, estacions terrestres, radars
SHF	3 a 30 GHz	Radars, estacions terrestres, connexió per microones
EHF	30 a 300 GHz	Radars, connexió per microones

Taula 1: Classificació de les ones electromagnètiques

Quan es sobrepassen els límits establerts d'exposició dels camps electromagnètics, les radiacions electromagnètiques tenen uns efectes o uns altres sobre la salut del cos humà, que varien també depenent de si la radiació és ionitzant o no ionitzant.. A la Taula 2 que podem veure a continuació es mostren les restriccions bàsiques sobre els camps electromagnètics. Tal i com tenim detallat al punt 2: “*Restricciones básicas*” corresponent al Annex II del **Reial Decret 1066/2001**^[8].

Rang de freqüències	Tipus d'afectació al cos humà
Entre 0 i 1 Hz	En cas d'una alta radiació veuríem afectacions al sistema cardiovascular i al sistema nerviós central.
Entre 1 Hz i 10 MHz	En cas d'alta radiació possibles afectacions sobre les funcions del sistema nerviós.
Entre 100 kHz i 10 GHz	En cas d'alta radiació podríem veure fatiga calorífica de cos sencer i un escalfament local excessiu dels teixits.
Entre 10 GHz i 300 GHz	En cas d'alta radiació tindríem un escalfament dels teixits de la superfície corporal o a prop d'aquesta.

Taula 2: Tipus d'afectacions al cos humà per rang de freqüències.

3.1 Ionitzant i no ionitzant

La forma més coneguda d'energia electromagnètica és la llum del sol. La llum visible és la línia divisòria entre el que coneixem com a radiació ionitzant i no ionitzant, és depenent de la seva energia que les radiacions es poden classificar entre aquests dos tipus. A la Figura 8 podem apreciar en quins camps està present la radiació no ionitzant, corresponent a les freqüències inferiors i en quina forma es presenta la ionitzant en les freqüències superiors.



Figura 8: Classificació radiació ionitzant i no ionitzant

Les **radiacions ionitzants** corresponen a les radiacions de major energia, de menor longitud d'ona, dins de l'espectre electromagnètic. Són aquelles capaces de ionitzar la matèria, extraient els electrons dels àtoms.

Poden provenir de substàncies radioactives que emetin aquesta radiació de manera espontània o de generadors artificials, com els generadors de raigs X i els acceleradors de partícules. Les radiacions ionitzants també estan presents a l'escorça terrestre de manera natural i es poden classificar compostes per partícules alfa, beta, raigs gamma i raigs x.

L'exposició a altes dosis de radiació ionitzant, com ara les restes de l'accident de Txernòbil, podrien causar efectes greus per al cos humà. Els principals efectes, depenent del nivell de la dosi d'exposició, podrien ser cremades a la pell, caiguda del cabell, nàusees, malalties i la mort. Quan hi ha perill per a l'exposició de radiació ionitzant es senyalitza amb el símbol de la Figura 9.



Figura 9: Senyalització perill radiació ionitzant

Però, l'exposició en baixes dosis no està demostrat que tingui cap efecte negatiu per al cos humà, com podrien ser les radiacions procedents del sol, les roques, el terra, materials radioactius alliberats des d'hospitals, carbó...

Les **radiacions no ionitzants** engloben totes aquelles que no tenen la suficient energia per ionitzar la matèria. És a dir que no poden impartir l'energia necessària a una molècula o a un àtom per alterar la seva estructura traient-li un o més electrons.

Engloba les freqüències compreses entre les freqüències baixes o la radiofreqüència i l'ultravioleta aproximadament. Existeix algun cas en què alguna radiació no ionitzant per freqüència, però amb molta intensitat pugui arribar a ionitzar. Això es coneix com a ionització no lineal i un exemple seria el dels làsers molt potents.

Les fonts artificials que puguin irradiar intensitats a freqüències no ionitzants que puguin superar els límits de la salut estan senyalitzades amb el símbol de la Figura 10.



Figura 10: Senyalització perill radiacions no ionitzants

Aquests tipus de radiació està cada cop més present degut al mencionat creixement de la tecnologia. És per això que aquests són els rangs de freqüències que s'estudiaran per a l'elaboració del detector. És molt més comú al dia a dia estar exposat a radiacions no ionitzants ja que en tenim en tot el nostre entorn.

3.2 Normatives

Cada país estableix les seves pròpies normes nacionals relatives sobre l'exposició a camps electromagnètics. Si més no, la majoria d'aquestes normes nacionals es basen en les recomanacions de la Comissió Internacional de Protecció contra la Radiació No Ionitzant (ICNIRP_[3] per les seves sigles en anglès). Aquesta organització no governamental, reconeguda per la OMS, avalua els resultats d'estudis científics en relació a com afecten les radiacions electromagnètiques al cos humà realitzats en tot el món.

Basant-se en una anàlisi en profunditat de totes les publicacions científiques elabora unes directrius en les que s'estableixen uns límits d'exposició recomanats. Aquestes es revisen periòdicament i s'actualitzen.

Com hem vist prèviament, la relació entre la intensitat dels camps electromagnètics i la freqüència es complexa. És per això que no existeix un sol límit per a totes les freqüències, sinó que aquest varia.

La Taula 3 mostra un quadre on es resumeixen els límits establerts en base a les preocupacions que diferents tecnologies han causat a la societat, com l'electricitat a la llar, les estacions de base de telefonia mòbil i els forns de microones.

Freqüència	Freqüència de la xarxa elèctrica europea	Freqüència d'estacions base de telefonia mòbil		Freqüència dels forns de microones	
	50Hz Camp elèctric (V/m)	50Hz Camp magnètic (μ /m)	900MHz Densitat de potència (W/ m ²)	1,8GHz Densitat de potència (W/ m ²)	2,45GHz Densitat de potència (W/ m ²)
Límits d'exposició per a la població	5.000	100	4,5	9	10
Límits d'exposició ocupacionals	10.000	500	22,5	45	

Taula 3: Límits d'exposició recomanats per la ICNIRP

De totes maneres, aquests límits no determinen el llindar a partir del qual es perjudicial per a la salut, sinó a partir del qual no es pot assegurar. El que la ICNIRP pretén és informar que dins d'aquests límits d'exposició asseguruen que ni a curt ni a llarg termini d'exposició tindrà afectes

perjudicials per a la nostra salut, que probablement per sobre tampoc, però no és assegurable ja que en depenen molts altres factors individuals. A més a més, els valors normals que tenim al dia a dia, com a norma general, es troben molt per sota d'aquests límits recomanats.

A Espanya, la normativa estableix al **Reial Decret 1066/2001**^[8], un límit d'exposició màxim per als ciutadans. Aquests límits establerts estan basats en la guia presentada per la ICNIRP al 1998. A diferència que a Catalunya, on existeix una normativa també basada en la del ICNIRP, però més restrictiva. Especificada al **Decret 148/2001**^[9].

A la Taula 4 podem veure els límits d'exposició per al públic general que engloba tota persona que no estigui informada de l'exposició a la qual està sent sotmesa i que, per tant, no pot prendre mesures de seguretat al respecte. Veurem els límits regits per la ICNIRP, cosa que determina el reial decret 1066/2001 i els corresponents a Catalunya presents al decret 148/2001 en comparació.

Rang de freqüència	Normativa de la ICNIRP	Reial Decret 1066/2001 (Espanya)	Decret 148/2001 (Catalunya)
Intensitat del camp elèctric. (V/m)			
0-1 Hz	-	-	-
1-8 Hz	10.000	10.000	10.000
8-25 Hz	10.000	10.000	10.000
0,025-0,8 kHz	250/f	250/f	250/f
0,8-3 kHz	250/f	250/f	250/f
3-150 kHz	87	87	87
0,15-1 MHz	87	87	87
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$87/f^{1/2}$	$87/f^{1/2}$
10-400 MHz	28	28	19
400-2.000 MHz	$1,375*f^{1/2}$	$1,375*f^{1/2}$	$0,9*f^{1/2}$
2-300 GHz	61	61	41

Taula 4: Límits d'exposició per al públic general

Aquests valors límits han sigut obtinguts a partir dels gràfics corresponents a la Figura 11 i la Figura 12, on es mostren en detall els nivells de referència per a exposicions elèctriques i magnètiques respectivament.

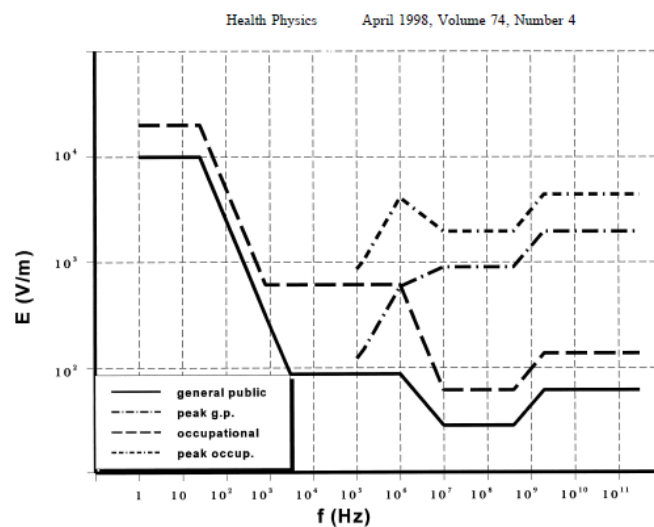


Figura 11: Intensitat del camp elèctric – ICNIRP

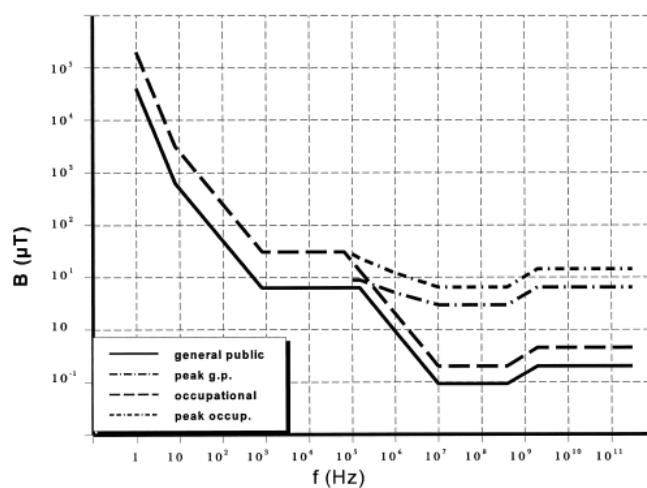


Figura 12: Intensitat del camp magnètic – ICNIRP

Com podem apreciar el decret 148/2001 pertinent a Catalunya es regeix als límits exposats per la ICNIRP en excepció de les altes freqüències, on és més restrictiva (caselles de la Taula 4 remarcades en groc).

Per altra banda, l'ICNIRP també disposa d'uns límits d'exposició per a persones que són conscients que poden estar rebent radiacions electromagnètiques elevades i que, per tant, poden prendre mesures de seguretat per negligir els possibles danys fins a certs punts. Punts que venen definits a la Taula 5 corresponent als límits per a l'exposició ocupacional.

Rang de freqüència	Normativa de la ICNIRP
	Intensitat del camp elèctric. (V/m)
0-1 Hz	-
1-8 Hz	20.000
8-25 Hz	20.000
0,025-0,8 kHz	500/f
0,8-3 kHz	500/f
3-150 kHz	610
0,15-1 MHz	610
1-10 MHz	610/f ^{1/2}
10-400 MHz	61
400-2.000 MHz	3*f ^{1/2}
2-300 GHz	137

Taula 5: Límits per la exposició ocupacional

Segons regeix l'article 8 del capítol IV "Autorización e inspección de instalaciones radioeléctricas en relación con los límites de exposición" corresponent al **Real Decret 1066/2001**, els operadors que estableixen xarxes de suport de serveis de radiodifusió sonora i televisió i els titulars de llicències tipus B2 i C2, hauran de presentar un estudi detallat, realitzat per un tècnic competent, que indiqui els nivells d'exposició radioelèctrica en àrees pròximes a les seves instal·lacions radioelèctriques en les quals puguin romandre persones habitualment.

En aquest estudi que han de presentar, hauran d'estar detallades les mesures registrades per l'equip professional i hauran d'estar per sota dels límits exposats anteriorment a la Taula 4. Aquest haurà de ser presentat davant del ministeri general de ciència i tecnologia, incorporat en el projecte o proposta tècnica i haurà de complir els límits per poder ser autoritzada. En cas de no compliment s'haurà de vetar el pas a les persones dins l'àrea crítica on els nivells de radiació electromagnètica superin els límits esmentats.

Com tenim definit a la llei **CTE/23/2002**^[10] del 11 de gener, encarregada d'establir les condicions per a la presentació dels determinats estudis detallats mencionats anteriorment, s'haurà de dur per llei un seguiment anual sobre les emissions d'electromagnetisme al públic en general. Per a la realització d'aquest estudi, es necessitarà de tècnics amb disposició de mesuradors de camps electromagnètics que compleixin amb la llei CTE/23/2002.

4 Elaboració del prototip

Diferenciem el prototip en dues parts. La part física, tangible, on es reflecteix el muntatge de l'aparell i les connexions realitzades. I l'altra, la part de la programació, on s'ha elaborat el codi per poder enregistrar els valors detectats. A continuació, s'exposaran els mitjans utilitzats per a la realització de cadascuna d'aquestes dues parts i es descriuran els passos elaborats amb els problemes trobats i la presa de decisions de manera detallada.

4.1 Hardware

En aquest apartat, s'exposaran els components utilitzats per a la realització del prototip. Aquest dispositiu es compon per microcontrolador, una antena receptora orientada per a dissenys aplicats a la roba, un cable coaxial que els comunica i altres components com leds, resistències i cables.

Placa base FLORA^[11]

Aquest microcontrolador de la companyia Adafruit^[12] està destinat a projectes o aplicacions relacionades amb el wearable, gràcies a la seva estructura i mida que facilita ser cosida i utilitzada en teixits.

Antena Wearable^[13]

Per al prototip s'ha utilitzat una antena dipol brodada en una peça de tela. Aquesta és una antena destinada a operar a 2,45GHz de freqüència. Operable a la banda ISM, rang de freqüència reservat per al ús d'aplicacions no comercials en els àmbits de la indústria, la ciència i la medicina.

Cable coaxial^[14]

Per a connectar l'antena amb el microcontrolador s'ha utilitzat un cable coaxial amb connectors mascle i femella SMA de 50 Ω i 1 metre de llargada. Aquest cable té l'aspecte de la Figura 13.



Figura 13: Cable coaxial amb connector SMA

Altres components

També s'han necessitat dues resistències, cable , leds i una protoboard on fer els muntatges. Les resistències són de $330\ \Omega$ i de $3.3\ M\Omega$, i els leds són verds de 5 mm de diàmetre i 3 Volts.

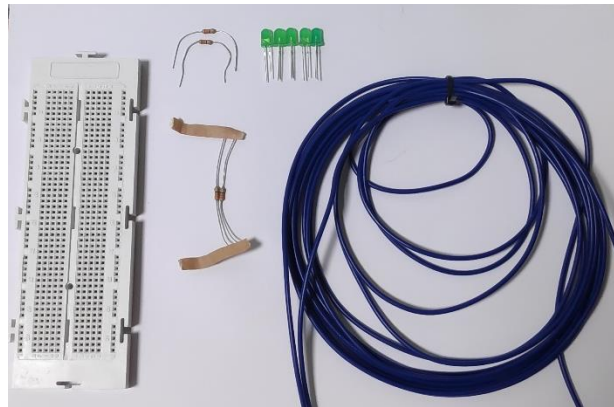


Figura 14: Components varis per al muntatge

4.1.1 Especificacions del hardware utilitzat

Les especificacions dels components utilitzats són:

FLORA

La placa compta amb totes les funcions de les què disposa Adafruit. És un microcontrolador de forma circular dissenyada per a potenciar tot tipus de projectes amb aplicacions a la roba donada la seva facilitat de ser cosida i portable, degut a tenir diversos forats i tenir una mida molt reduïda, de 4,45 cm de diàmetre i un pes de 4,7 grams. (Figura 15).

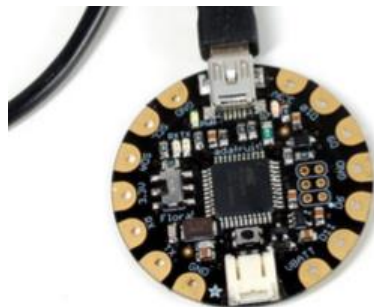


Figura 15: Microcontrolador FLORA

Les especificacions tècniques de la placa són:

- Entrada per bateria (connector JST de dos pins): Accepta d'entre 3,5 a 16 volts d'entrada degut a què incorpora un regulador MIC5225-3.3 que, a més a més, inclou un protector contra inversió de polaritat. Aquesta connexió accepta com a molt una intensitat d'entrada de 2A. Es recomana que la tensió d'entrada per aquesta connexió no sigui superior a 6V, ja que la placa funciona a 3,3V i així està menys saturat.
- L'entrada per USB: Aquesta accepta una tensió d'entre 4,5 i 5 volts amb una fusible de 500mA. Aquesta entrada serà utilitzada tant per alimentar a falta de bateria connectada i per a la càrrega del programa.
- La velocitat del rellotge intern és de 8MHz.
- El xip que integra és el ATmega32u4.
- Sortida VBATT: aquesta sortida pot ser utilitzada per alimentar altres dispositius complementaris per a la realització del projecte, Adafruit brinda moltes opcions de la seva pròpia gamma com per exemple acceleròmetres, NeoPixels (que són leds RGB amb facilitat també per ser cosits), GPS...
- Aquesta placa requereix 8mA de normal i 2mA extremes quan el pin D7 LED està activat.

Seguidament a la Figura 16 podem observar un diagrama amb els pins d'entrada i sortida de la placa base FLORA. Com podem observar compta amb:

- 3 pins corresponents a terra (**GND**).
- 1 sortida de tensió que ve donada per la bateria i, per tant, no està regulada per la placa (**VBATT**).
- 2 sortides de tensió regulades de 3,3V cadascuna i un màxim de 100mA (**3.3V**).
- 1 senyal de rellotge (**SCL**).
- 1 sortida encarregada d'enviar dades per a cada cicle que li mana el pin SCL (**SDA**).
- 2 pins digitals per a transmissor i receptor (**TX/RX**).
- 3 pins que poden ser tant analògics com digitals ja que compten amb DACs i ADCs per a cadascun respectivament i són per modulació per banda de polsos PWM (**D10**, **D9**, **D6**).
- 1 pin analògic pur (**D12**) que també pot ser utilitzat com a pin digital.

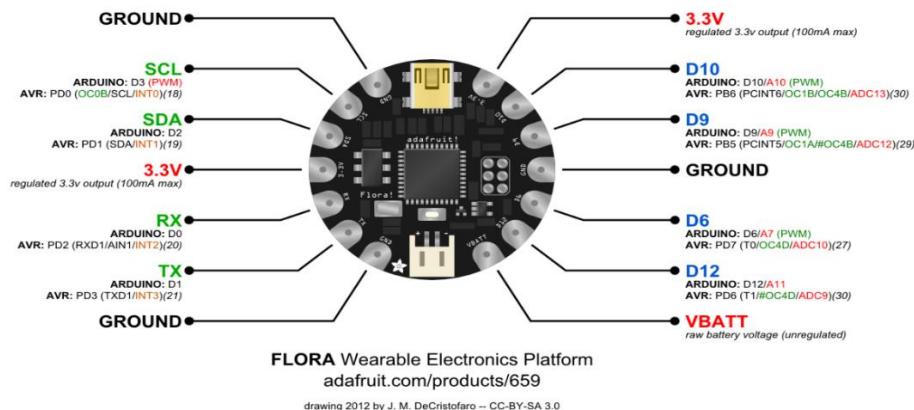


Figura 16: Diagrama de connexions d'entrada i sortida de la placa FLORA

ANTENA WEARABLE

El propòsit de la utilització d'una antena d'aquestes característiques és la intenció d'obtenir un prototip futur completament integrat a la roba de tal manera que tots els components estaran de manera implícita cosits a la peça de roba.

L'antena utilitzada, corresponent a la de la Figura 17, es tracta d'un dipol bordat sobre un tros de cotó. Desenvolupada per l'equip de recerca format per Ignacio Gil, Raul Fernández-Garcia i José Antonio Tornero^[13], l'antena està dissenyada per a aplicacions **WBAN**^[15] sigles en anglès que signifiquen xarxa sense fils d'àrea corporal. La tecnologia WBAN es basa en transmetre dades des del cos obtingudes de diferents sensors a una estació base, depenent de l'aplicació requerida.

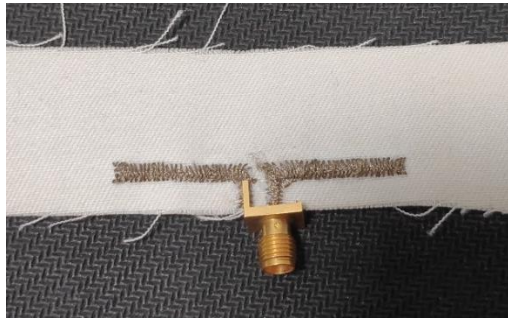


Figura 17: Antena wearable

Per al brodat de l'antena, s'ha utilitzat la tècnica de puntada setinada, la componen un total de 257 puntades en paral·lel de 3 mil·límetres cadascuna amb 1 mil·límetre de separació entre elles. S'ha utilitzat aquest tipus de brodat degut a que ha demostrat ser més eficient en relació al nombre de puntades.

L'àrea de recepció o transmissió del dipol és omnidireccional. Elaborada sobre el cotó, l'antena té unes pèrdues de retorn de -33dB. A la Figura 18, podem veure el diagrama corresponent al patró de radiació per al tipus de costura de puntada setinada (la corresponent a l'exemplar adquirit) i amb una altra tècnica de bordatge coneguda com puntades lineals.

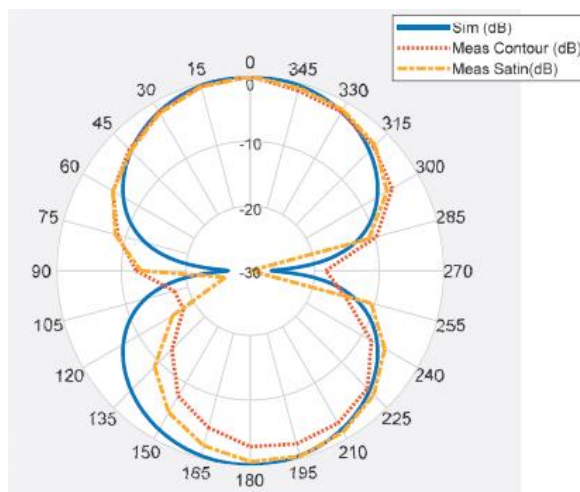


Figura 18: Diagrama de radiació de l'antena

Com podem comprovar al diagrama on l'antena té menys pèrdues és a la cara frontal i la posterior i, on més, als laterals. De totes maneres, al ser cosida a una peça de roba es procurarà orientar com a cara receptora la frontal ja que sembla ser lleugerament més precisa.

L'antena està connectada a un connector SMA femella, aquest connector té un dels pols connectat a l'exterior del connector actuant com a la component de terra (GND) i l'altre a l'interior.

4.2 Software

En aquest apartat es descriurà el software utilitzat per a la realització del prototip i es descriuran els passos per a la instal·lació i procés familiarització.

El software que s'ha utilitzat ha sigut **Arduino IDE**_[16] ja que la placa base FLORA n'és compatible. Tant Windows com Arduino han requerit d'uns drivers i llibreries respectivament per poder identificar adequadament la placa FLORA. La versió utilitzada ha sigut la 1.8.8.

La pàgina d'Adafruit té un apartat d'aprenentatge on expliquen el funcionament de les llibreries d'Arduino i una sèrie d'exemples de projectes elaborats amb aquest software. A més a més, consta d'una sèrie de vídeos orientatius on es defineix el procediment aplicat per a cada apartat dels projectes d'exemple que tenen pujats a la web.

4.2.1 Descripció del programari utilitzat

ARDUINO IDE

Arduino IDE és un entorn de desenvolupament gratuït amb què es realitza la programació de, en un principi, les plaques d'Arduino, però moltes altres són també compatibles. Arduino busca

combinar hardware i software per facilitar l'accés, ja que la companyia s'allibera sota la llicència de codi obert i és el que dona total llibertat d'accés.

Aquest software té com a base de programació l'entorn Processing i el seu llenguatge es basa en Wiring. La plataforma compta amb diversos vídeos i manuals orientatius per aprendre a programar-hi en poc temps. A més a més, el mateix software incorpora un apartat d'exemples o trobaràs alguns exemples d'aplicacions ja fets i disponibles per provar i entendre.

El software Arduino IDE és tan fàcil d'instal·lar com dirigir-se a la web i al menú de software descarregar la versió requerida i instal·lar-la en menys de 5 minuts.

4.3 Descripció de l'elaboració del prototip

El prototip ha tingut una evolució respecte a la qualitat de percepció, rellevància dels valors obtinguts, millores en el codi i en la senyalització de presència de camps magnètic. A continuació s'esmentaran els passos seguits per a l'elaboració del disseny, mentre es realitzaran mesures per a cada nova actualització del prototip, de manera que es pugui tenir referència dels valors obtinguts en diferents ambients i poder fer el calibratge en un futur amb l'equip professional.

1. El primer pas que es va fer va ser la instal·lació dels drivers necessaris per al reconeixement del microcontrolador FLORA a l'ordinador equipat amb Windows. Aquests drivers es descarreguen de la mateixa web d'Adafruit i consten d'una pauta detallada recolzada amb imatges per a la correcta instal·lació d'aquests.

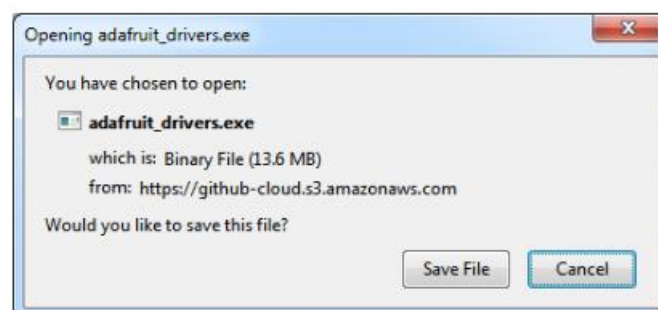


Figura 19: Instal·lador dels drivers

2. Seguidament des de Arduino s'ha accedit al menú de "Preferencias" situat al menú desplegable "Archivo" per a afegir el següent link a l'espai "Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas":

https://adafruit.github.io/arduino-board-index/package_adafruit_index.json

Aquest enllaç és necessari perquè quan procedim a instal·lar les llibreries necessàries per al reconeixement de la placa aquestes apareguin, ja que no venen incorporades amb l'Arduino per defecte.

S'ha realitzat la instal·lació de dues llibreries. La d'Adafruit Circuit Playground és una llibreria que incorpora diversos exemples de codis de diferents aplicacions dissenyades per funcionar amb la placa base FLORA. A part, aquesta llibreria incorpora software necessari per a la connexió entre el flora i els complements que la solen acompanyar i es poden adquirir a través de la web d'Adafruit. Alguns d'aquests complements són els acceleròmetres, xips GPS, interruptors de cremallera i altres aparells que dissenya Adafruit per interactuar amb el microcontrolador FLORA, que en un principi s'haurien utilitzat, però finalment s'ha optat per altres opcions. En addició, la llibreria Adafruit Flora Pixel, incorpora la informació necessària per poder realitzar la comunicació entre la placa base i els NeoPixels, una altra tecnologia d'Adafruit que es podria utilitzar en comptes de LEDs comuns.

Per a instal·lar una llibreria ens dirigim al desplegable “Herramientas” i seguidament seleccionem “Administrar bibliotecas”, un cop dins filtrem amb la paraula adafruit, tal com es mostra a la Figura 20.

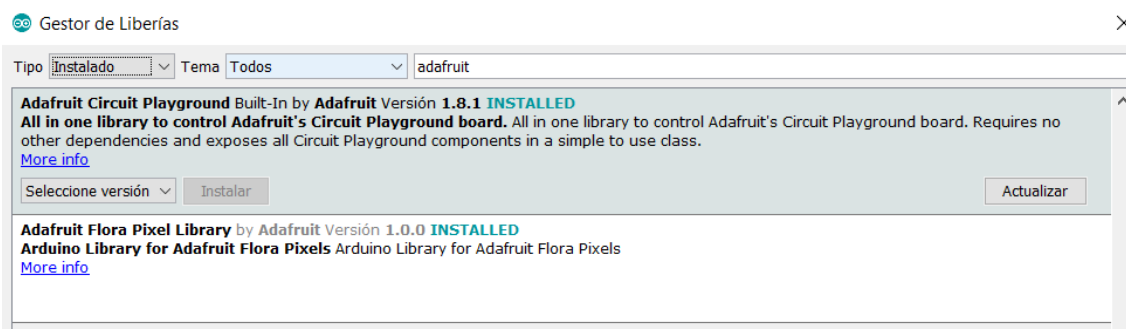


Figura 20: Llibreries instal·lades

3. El tercer pas ha estat plantejar el codi i preparar la placa per carregar-lo. Per registrar les primeres dades utilitzarem un cable en comptes de l'antena wearable. Aquest cable es connectarà a l'entrada analògica de la placa **D12** (A11 en Arduino). Les primeres proves consistiran en carregar el codi preparat per poder veure si estem detectant quelcom, no s'especificarà cap senyalització visual, senzillament es miraran els valors a través del “Monitor Serie”, dins del menú desplegable “Herramientas”. Aquest tindrà l'aspecte de la
- 4.
5. Figura 21.

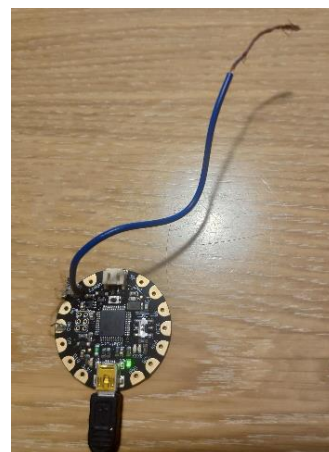


Figura 21: Primera versió del prototip

El següent pas és la realització del codi necessari per a llegir l'entrada corresponent al pin A11 on està connectat el cable i representar el valor per pantalla. El codi mostrat a la Figura 22 defineix l'entrada analògica corresponent al pin A11, inicialitza una variable de tipus enter denominada val com a zero, seguidament, dins l'apartat de **setup()**, es determina una velocitat de bits de 9600. A l'apartat de **loop()** assignem a la variable val el valor obtingut per a la entrada analògica i seguidament la escrivim per pantalla, aquesta execució és realitzarà cada 100 milisegons ja que així s'ha determinat amb la crida a **delay(100)** de manera indefinida.

```
#include <Adafruit_CircuitPlayground.h>
#include <SPI.h> //Llibreria per a la connexió amb dispositius

#define ANALOG_INPUT  A11 // Entrada analògica de lectura

int val = 0;

void setup() {
  // Setup serial port.
  Serial.begin(9600); //Velocitat de bits utilitzada
}

void loop() {
  val = analogRead(ANALOG_INPUT); //Assignem a val la lectura registrada a l'entrada analogica

  Serial.println(val); // Escribim per pantalla el valor que obtenim
  delay(100); //Posem un retras de 100 mseg entre escriptures
}
```

Figura 22: Primera versió del codi

Després d'enregistrar alguns valors es veu que està saturant, ja que l'únic nombre que rebem és el màxim, el 1023 repetidament. Això es deu a la lleugeresa d'utilitzar com a antena un sol cable. Per això, després de buscar informació al respecte i exemples similars, es decideix col·locar una resistència de 3,3 MΩ per donar una major sensibilitat a l'equip, canvi que suposo la segona versió del prototip (Figura 23). Formant l'esquema corresponent a la Figura 24 que es troba a continuació.

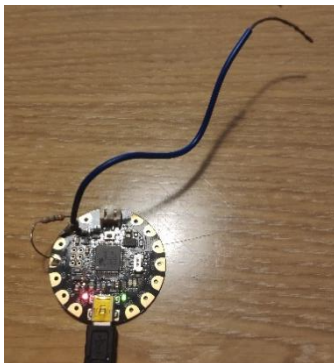


Figura 23: Segona versió del prototip

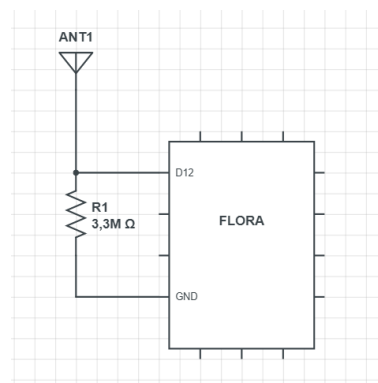


Figura 24: Esquema cable i resistència

Al col·locar la resistència, es comença a obtenir valors més baixos, ja no saturen constantment als 1023. Així que es realitzen diverses mesures de l'entorn quotidià. En una habitació "normal" sense presència de aparells electrònics s'enregistren uns valors del voltant del nombre 70. Aquest valor, però, resulta ser inestable ja que la lectura no és constant de 70 o valors propers. Sinó que va a ràfegues de manera sinusoidal. Presenta series de valors pròxims a 70 i seguidament series a 0.

Tanmateix es mesura amb una font d'electromagnetisme més elevada com és la d'un forn de microones en funcionament. Quan s'està enregistrant al costat s'obtenen valors més elevats de l'ordre de 140, però amb les ràfegues presents en el cas anterior. De totes maneres es suposa que és degut a la feblesa de les connexions i la volatilitat de l'ús d'un cable com a antena. Els valors enregistrats són suficients per a veure una variació entre una font sense presència directe d'electromagnetisme i una amb presència directa que correspon amb els valors més elevats rebuts.

Es programa la placa per poder obtenir d'una manera visual una senyal lumínica quan es sobrepassa del valor 100, encenent el LED incorporat a la placa corresponent a la sortida 7. Aquestes línies de codi s'han afegit dins de l'apartat loop() i s'ha creat una funció condicional perquè només s'executi al rebre un valor superior o igual a 100.

Com es pot apreciar a la Figura 25 s'ha referenciat la variable LED al número 7 ja que és el pin corresponent. El LED de la placa només té dos nivells d'intensitat lumínica, o encès o apagat.

```
int val = 0;
int led = 7;

void setup() {
  // Setup serial port.
  Serial.begin(9600); //Velocitat de bits utilitzada
}

void loop() {
  val = analogRead(ANALOG_INPUT); //Assignem a val la lectura registrada a l'esntrada analogica

  if(val >= 100){
    digitalWrite(led,1);
  }
  else
  {
    digitalWrite(led,0);
  }

  Serial.println(val); // Escribim per pantalla el valor que obtenim
  delay(100); //Posem un retras de 100 mseg entre escriptures
}
```

Figura 25: Segona versió del codi

- La següent modificació ha estat la d'afegir un LED extern per tenir una percepció més visual del nivell d'intensitat que estem enregistrant, ja que aquests regularà també la seva intensitat lumínica. A la Figura 26 veiem com queda l'esquema del circuit. Per a la connexió del LED s'ha necessitat, tal com es mostra a la Figura 27:

- Una protoboard, per poder realitzar el muntatge de manera més còmoda.
- Un LED, s'ha seleccionat un de color verd, de 5mm de diàmetre. Aquest té una caiguda de 3V, és per això, degut a que la sortida de la placa analògica al que el connectarem entrega 3,3V, haurem de posar una resistència de protecció. Aquesta pot ser calculada tenint en compte que la intensitat que ha de passar pel LED es de 20mA i la diferència de voltatge és de $3,3V - 3V = 0,3V$. Per llei d'Ohm tenim que la resistència òptima hauria de ser de $0,3/20 \cdot 10^{-3} = 15 \Omega$. De totes maneres, degut a la lluminositat entregada s'ha augmentat la resistència i s'ha col·locat una de 330 Ω .
- La mencionada resistència de protecció de Ω .
- Cable, soldador i estany.

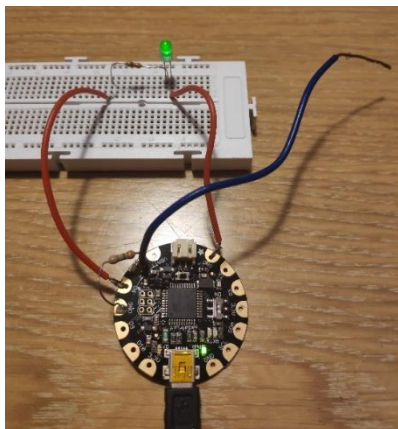


Figura 27: Tercera versió del prototip

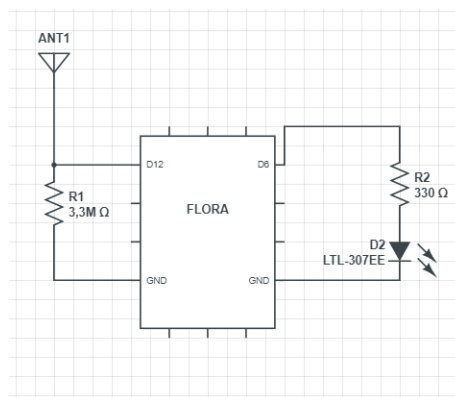


Figura 26: Esquema amb el LED

Per al funcionament del LED hem d'incloure algunes línies al codi del programa (Figura 28). El primer pas és assignar al LED el pin 6, ja que és la sortida per on traurem la tensió. Seguidament, al loop, es canvia la condició perquè al detectar un valor major a 1 ja envii tensió al LED. Amb la funció **constrain** limitarem les dades rebudes que van de l'1 al 1023, al rang d' 1 a 300 ja que rarament obtindrem valors majors al 300 en l'entorn normal en què ens trobem. Ara utilitzarem la funció **map** per a convertir el rang d'1 a 300 en 1 a 255, aquesta funció interpola o delma en funció si ha d'afegir o reduir, respectivament, valors digitalment en el rang determinat. Per últim passarem a la funció **analogWrite** el valor d'intensitat que li volem passar al LED, que va d' 1 a 255 i aquesta enviarà la informació a través de la sortida D6.


```
int val = 0;
int led = 6;

void setup() {
  // Setup serial port.
  Serial.begin(9600); //Velocitat de bits utilitzada
}

void loop() {
  val = analogRead(ANALOG_INPUT); //Asignem a val la lectura registrada a l'esentrada analogica

  if(val >= 1){
    int ledint=constrain(val,1,300);
    ledint=map(ledint,1,300,1,255);

    analogWrite(led,ledint);
  }
  else
  {
    analogWrite(led,0);
  }

  Serial.println(val); // Escribim per pantalla el valor que obtenim
  delay(100); //Posem un retras de 100 mseg entre escriptures
}
```

Figura 28: Tercera versió del codi

7. Havent realitzat les proves pertinents utilitzant el cable com a antena i sabent que és capaç de detectar qualitativament el senyal electromagnètic, ja que al posar-lo davant una font com la d'un forn de microones, obtenim valors més elevats dels normals, és el moment de canviar l'antena actual per l'antena wearable de 2,45GHz. Aquesta ve amb un connector SMA femella, com el mostrat a la Figura 29. En aquest connector el component terra (GND) és el contorn de la peça, mentre que el component sèrie és l'orifici central, el qual requereix d'una agulla especial per a aquestes connexions.



Figura 29: Connector SMA femella.

Al no tenir la peça mascle s'intenta fer la connexió manualment, envoltant amb un cable la part superior per a tenir el component terra i inserint un cable prim a l'interior de l'orifici, tal i com mostra la Figura 30.



Figura 30: Aproximació de connector mascle SMA

Un cop feta la connexió de l'antena wearable amb la placa a través d'aquesta aproximació, es veu com els valors que s'obtenen tenen un factor d'aleatorietat massa alts i extremistes, registrant zeros i 1023 saturant de manera contínua i sense cap lògica. S'arriba a la conclusió que és per la feble connexió del connector improvisat, degut a què el cable de l'interior de l'orifici no feia la connexió més òptima possible.

Es recorre a buscar un cable amb connector mascle. Un cop aconseguit es talla per la part del connector femella. Al ser un cable coaxial tenim dos components, tal i com es mostra a la Figura 31, un és la malla de coure que envolta al cable, aquesta és la component de terra. I l'altre és el nucli, que correspon a la sèrie que connectarem a l'entrada analògica de la placa.

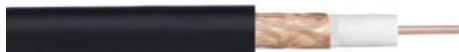


Figura 31: Cable coaxial

Després d'aïllar els dos components amb cinta aïllant els soldem a la placa. A la Figura 32 podem veure l'estat final de la connexió entre l'antena wearable i la placa.



Figura 32: Connexió entre la placa i l'antena wearable

Amb la nova connexió desapareix el factor d'aleatorietat que teníem i s'obtenen els resultats més estables registrats fins ara. En un entorn normal com és un dormitori, s'enregistra un valor mitjà de 100.

5 Validació

En el següent apartat es descriuran altres equips de mesura de camps electromagnètics que hi ha al mercat, s'explicarà el procés per al calibratge del nostre prototip i obtenir la conversió del valor del 0 al 1023 que rebem al valor d'intensitat real en V/m que rebria un mesurador professional a la mateixa freqüència.

Seguidament, es determinarà el llindar, intensitat a partir de la qual, al sobrepassar-la, s'activarà la senyalització del prototip.

5.1 WaveControl SMP2

Per a la les mesures reals s'utilitzarà l'equip professional de mesurament de camps electromagnètics **SMP2** de la casa **WaveControl**^[17].

Com podem apreciar a la Figura 33 aquest equip compta de diferents modes, el que utilitzarem serà el **LOG**. Aquest mode fa una mesura durant 6 minuts d'un mateix punt en l'espai on estarà registrant els valors màxims i mínims d'intensitat electromagnètica que rep i al cap dels 6 minuts en fa la mitjana. Aquest detector compleix amb les normatives ICNIRP i la Directiva Europea 2013/35/EU^[18], corresponent a les disposicions mínimes de salut i seguretat relatives a l'exposició dels treballadors a els riscos derivats d'agents físics. Entre d'altres com el tractat d'EN o la IEE.

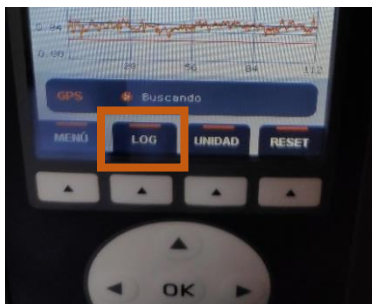


Figura 33: Vista de les opcions de selecció del detector SMP2

A la Figura 34 es mostra el contingut que incorpora l'equip, es compon de dues sondes, la menor, per a enregistrar radiacions de la banda de 300kHz a 18Ghz i la gran dissenyada pel rang d'entre 1Hz i 400kHz. A la capsa també es troba un llapis de memòria amb el software, un carregador i el propi aparell SMP2.



Figura 34: Contingut de la caixa del detector SMP2

El software propi que incorpora el mediador està dotat de les possibilitats de poder tractar les dades analitzades, descarregar-les i poder generar un informe. Permet també veure taules i gràfics dinàmics.

5.2 Calibratge de les mesures

Per al calibratge del prototip es realitzaran un mínim de dues mesures rellevants i estables diverses vegades amb un mesurador de camps electromagnètics professional i es compararan amb el nombre que estiguem registrant amb el nostre dispositiu. La placa base FLORA té una resolució de 10 bits i, per tant, els valors que obtenim van del 0 al 1023. Tenint en compte el valor que registre el microcontrolador FLORA i els que registra l'equip professional es podrà fer una conversió per esbrinar l'equivalència de qualsevol intensitat de camp.

Les mesures es realitzaran en diferents llocs de la universitat per intentar trobar els casos més extrems possibles (màxima i mínima intensitat) i d'aquesta manera poder fer una conversió òptima, donat que els registres que mesurem amb el dispositiu elaborat estiguin el més separats entre si possible.

Per la major fiabilitat possible situarem el dispositiu amb l'ajuda d'un trípod a 1,5 metres d'alçada en 3 punts diferents de la universitat, degut que en el recinte els valors no varien gaire intentarem buscar un valor molt baix en una zona exterior i dos valors més elevats en dos tipus d'aula diferents.

Ubicació de mesura 1

La primera mesura s'ha realitzat al mateix laboratori 226 del TR2, és un espai petit i en el moment de la mesura tots els aparells estaven apagats. Després de fer la mesura amb el mediador professional SMP2 amb l'antena de 300 kHz a 18 GHz connectada, ja que és el rang on es troba la antena wearable que estem utilitzant (2,45 GHz), hem obtingut els següents resultats. (Figura 35)



Figura 35: Ubicació de la mesura 1

Com podem veure a la Figura 36 l'equip professional ha trobat durant la mesura de sis minuts un valor mitjà d'intensitat de camp electromagnètic de **0.43 V/m**, un valor màxim de 0.97 V/m i un mínim de 0.24 V/m. Aquesta mesura s'ha realitzat 5 vegades i aquesta ha sigut la mitjana obtinguda.

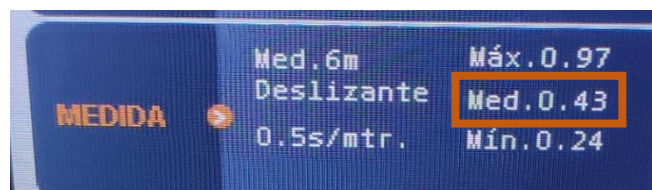


Figura 36: Resultats de la mesura 1 amb el SMP2

Per altra banda, al prototip hem obtingut un valor gairebé estable de **125**, les 5 vegades en que s'ha realitzat. Alguns obstacles trobats han sigut la dificultat d'estabilitzar els valors que registra el dispositiu amb Arduino, ja que a l'estar les connexions al descobert qualsevol contacte amb un obstacle o persona fa que es desestabilitzin els valors obtinguts, a més a més, tarda en tornar-se a estabilitzar per complert el valor. Al realitzar una carcassa i per tant tenir el cobert tot el dispositiu evitarem el contacte i serà un procés molt més estable i instantani. (Figura 37).

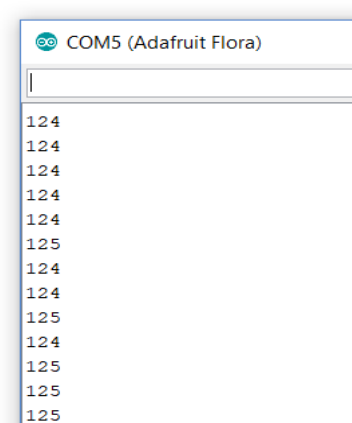


Figura 37: Resultats mesura 1 amb el prototip

Ubicació de mesura 2

La segona mesura s'ha realitzat a l'exterior de l'entrada al TR2 just al final del pàrquing amb la intenció de trobat un lloc més tranquil sense presència de tanta tecnologia per a l'obtenció d'un valor més baix. Després de fer la mesura amb el mediador professional SMP2 amb l'antena de 300 kHz a 18 GHz connectada, hem obtingut els següents resultats. (Figura 38).

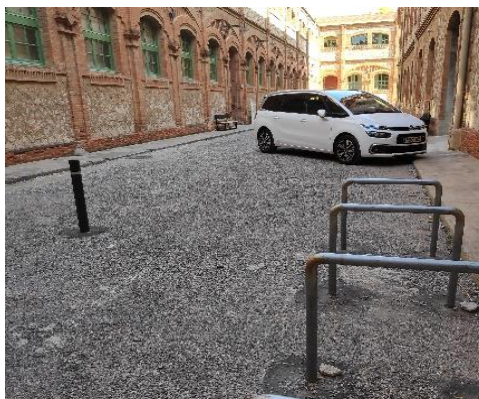


Figura 38: Ubicació de la mesura 2

Com podem veure a la l'equip professional ha trobat durant la mesura de sis minuts un valor mitjà d'intensitat de camp electromagnètic de **0.11 V/m**, un valor màxim de 0.43 V/m i un mínim de 0.00 V/m. Aquesta mesura és la mitjana obtinguda de les 5 que s'han realitzat en aquesta ubicació. (Figura 39).

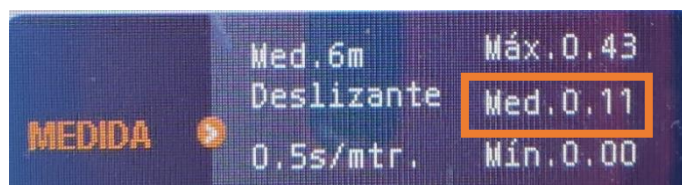


Figura 39: Resultats de la mesura 2 amb el SMP2

Per altra banda, al prototip hem obtingut un valor gairebé estable de **85**, en el total de les 5 vegades en que s'ha mesurat des de aquest punt. Això ja ens dona la pista de que va per bon camí ja que l'equip professional ha detectat una menor intensitat i així ho ha fet també el dispositiu amb la placa FLORA. En el transcurs d'aquesta mesura al no haver-hi tantes interferències ha sigut més fàcil arribar a un valor estable. (Figura 40).

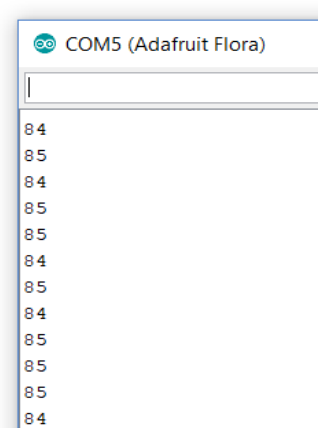


Figura 40: Resultats de la mesura 2 amb el prototip

Ubicació de mesura 3

La tercera mesura s'ha realitzat a l'aula d'ordinadors 0.18 del TR2 (Figura 41), aquest tercer lloc s'ha escollit amb la intenció d'enregistrar un valor més alt que els dos anteriors, ja que bona part dels ordinadors de la classe estaven encesos i hi havia gent amb telèfons mòbils i altre tecnologia. Després de fer la mesura amb el mediador professional SMP2 amb l'antena de 300 kHz a 18 GHz connectada, hem obtingut els següents resultats.



Figura 41: Ubicació de la mesura 3

Com podem veure a la l'equip professional ha trobat durant la mesura de sis minuts un valor mitjà d'intensitat de camp electromagnètic de **0.58 V/m**, un valor màxim de 1.45 V/m i un mínim de 0.30 V/m. Aquest ha sigut el resultat obtingut en les 5 mesures que s'han realitzat en aquesta ubicació amb el detector professional. (Figura 42).

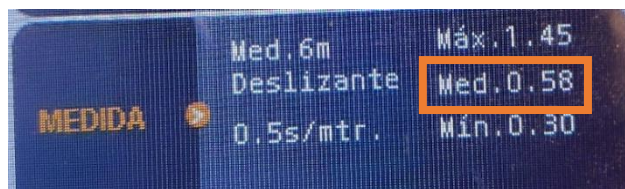


Figura 42: Resultats de la mesura 3 amb el SMP2

En aquest cas, ha costat més arribar al valor estable, però un cop trobat ha variat poc. El nombre obtingut ha sigut de **145**, de mitjana de les 5 mesures en aquest punt. Tal com s'esperava en aquesta ubicació s'ha obtingut el valor més alt de les mesures realitzades. Els valors enregistrats amb el mediador professional i els obtinguts amb el prototip en un primer punt de vista tenen una correspondència. (Figura 43).

COM5 (Adafruit Flora)	
148	
147	
146	
145	
145	
144	
144	
143	
143	
143	
144	
144	
144	
145	

Figura 43: Resultats de la mesura 3 amb el prototip

5.3 Determinació del llindar de detecció del camp electromagnètic

Un cop tenim enregistrades les tres mesures realitzades podem estudiar quina és la correlació que existeix entre el nostre aparell i el detector professional, l'objectiu seria trobar un factor que relacioni les dues mesures, respectant que pugui existir una petita tolerància de variació, per poder traçar una relació directa orientativa per, d'aquesta manera, poder detectar qualsevol intensitat de camp que es requerís.

Com podem observar a la Taula 6, tant els valors obtinguts per l'equip professional com els obtinguts pel prototip són creixen conjuntament. El que des d'un primer moment ens orienta que anem en bon camí.

Tipus de detector	Mesura 1	Mesura 2	Mesura 3
Detector amb FLORA (Valor nominal)	85	125	145
Detector SMP2 (V/m)	0,11	0,43	0,58

Taula 6: Comparació de les tres mesures obtingudes

D'aquesta manera, és difícil veure si tenim una relació directe així que mirem els gràfics que genera cada un dels Detector per a les tres ubicacions de mesures realitzades. Un corresponent a les realitzades amb el prototip (Figura 45) i l'altre amb l'equip professional (Figura 44).

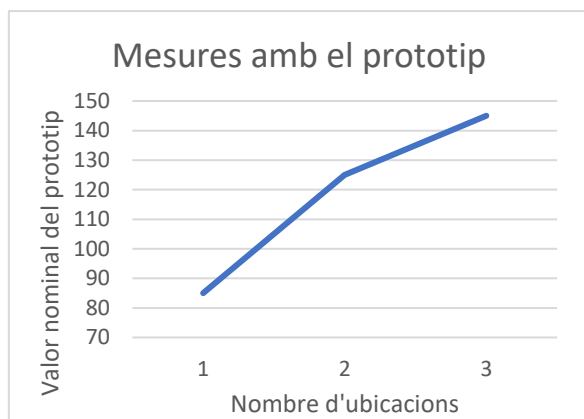


Figura 45: Gràfic del prototip

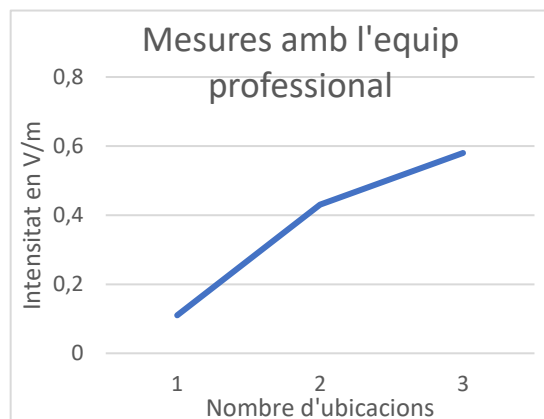


Figura 44: Gràfic equip professional

Com podem observar els dos gràfics tenen una forma molt similar i gairebé directament proporcional. Així que obviarem la mesura 2 assumint que podem tenir un cert percentatge de tolerància en els resultats obtinguts i, arbitràriament, es traçarà una línia entre els dos punts corresponents a la mesura 1 i la mesura 3. Per obtenir la forma de la recta utilitzarem la fórmula de la equació canònica de la recta pronosticant l'evolució de les mesures amb criteri lineal. (2)

$$\frac{x - x_a}{x_b - x_a} = \frac{y - y_a}{y - y_a} \quad (2)$$

Al desenvolupar-la, trobem que la equació resultant de la conversió del valor obtingut al prototip a intensitat del camp electromagnètic en volts partit per metre (V/m) és la corresponent a l'equació elaborada per a la conversió a V/m (3). Sent y el valor d'intensitat en V/m i x el valor obtingut al prototip.

$$y = \frac{47}{6000} * x - \frac{667}{1200} \quad (3)$$

Per a comprovar la fortalesa de l'equació trobada, calculem el valor de la mesura 2 obtingut a partir d'aquesta. Coneixem que a la mesura 2 el valor resultant de la mesura d'intensitat electromagnètica amb el prototip va ser de 125 i amb l'equip professional de 0,43 V/m. Si substituïm la x per 125 veiem que el resultat obtingut és de 0,423 V/m. Amb el que a priori obtindríem una precisió del $(0,423/0,43)*100 = 98,37\%$. Corresponent a una tolerància de $\pm 2\%$ aproximadament.

De totes maneres, aquesta fórmula no és fiable amb plena exactitud ja que està basada en tres únics valors i no sabem si seguiria creixent uniformement a mesura que augmenta la intensitat, almenys a en valors que comencen a allunyar-se dels 2 V/m. Per obtenir una escala molt més fiable, requeriríem d'una font molt més elevada per poder fer mesures, ja que ara per ara no s'ha provat el prototip en fonts estables superiors al 1 V/m, així que no podem preveure com es comportaria amb una intensitat molt major. Encara que fins als 2 V/m podem obtenir una estimació bastant fiable, representada a la Taula 7.

Intensitat (valor obtingut amb FLORA)	85	125	145	198,6	326,2
Intensitat (V/m)	0,11	0,423	0,58	1	2

Taula 7: Càlcul de calibratge

Amb l'obtenció d'aquests resultats podem veure que el prototip pot funcionar com a aproximació per a la detecció de camps electromagnètics de, almenys, una intensitat inferior de 2V/m. Tal i com tenim a la indicat a la Taula 8, els límits imposats per la normativa al rang de freqüències corresponent al de l'antena receptora que tenim (2,45GHz) són de l'ordre dels 41 a Catalunya i de 61 a Espanya en general.

Rang de freqüència	Normativa de la ICNIRP	Reial Decret 1066/2001 (Espanya)	Decret 148/2001 (Catalunya)
	Intensitat del camp elèctric. (V/m)		
2-300 GHz	61	61	41

Taula 8: Límit d'intensitat del camp elèctric per a la freqüència de l'antena

Aquests valors amb el càlcul de la fórmula obtinguda serien de 5.305 i de 7.858 respectivament. A part que aquests nombres superen la resolució de 10 bits del microcontrolador FLORA (1023 com a valor màxim), no tenim la certesa que la fórmula obtinguda seguís tenint la mateixa validesa. Si més no, si es volgués programar el prototip perquè el llindar fos a aquests valors s'hauria de fer un mapejat per convertir els valors obtinguts en 10 vegades més petits aproximadament, d'aquesta manera podríem ser capaços d'enregistrar intensitats molt més altes sense saturar.

De totes maneres, es deixarà programat com a llindar de detecció de l'aparell **2 V/m**, ja que és un cas menys extrem i més provable al dia a dia.

6 Disseny de producte

En aquest apartat es descriurà el procediment pas a pas per intentar portar el prototip a un dispositiu aplicable en l'àmbit de la seguretat pel que està dissenyat. Els propòsits són:

- **Wearable.** Fins ara el dispositiu s'alimentava a través del cable USB endollat a l'ordinador, cosa que feia incompatibles que el poguéssim integrar a la roba perquè estava dissenyat per estar endollat en tot moment. L'ideal és poder tenir el dispositiu operatiu sense fils per permetre la mobilitat total de la persona que el porta. Aquesta placa, a més, permet l'ús també d'una bateria.
- **Pràctic.** La idea que el dispositiu funcioni amb una bateria és bona, però per carregar una bateria d'aquestes característiques es necessita un carregador especial. De manera que cada vegada que ens quedéssim sense bateria hauríem de desconnectar la bateria de l'aparell i connectar-la al carregador i, un cop carregada, tornar-la al dispositiu. Això pot ser una pràctica feixuga i poc còmode, i és per això que s'ha buscat un carregador de bateria que es pugui integrar directament al dispositiu, talment com un telèfon mòbil té una bateria i tu no l'has de treure ja que la carregues per USB.

6.1 Wearable

La utilització d'una bateria enlloc de l'alimentació a través del port USB és primordial quan es tracta d'un aparell wearable, ja que haurà de ser totalment sense fils. Per a escollir la bateria hem de tenir en compte els requisits i especificacions de la placa base, el consum i la mida. A

més, el més adient seria buscar alguna manera de poder carregar la bateria sense necessitat d'extreure-la de l'aparell i connectar-la a un carregador extern, per fer-la com més accessible millor. El que es farà serà posar un adaptador de carrega de la bateria per USB, el qual carregarà l'aparell sencer a través de USB quan sigui necessari sense la necessitat d'haver de manipular el cablejat desconnectant la bateria per a carregar-la de manera externa.

La bateria inicial en la que s'havia pensat era la que recomanava la web de la placa base. Les característiques de la placa FLORA permeten una bateria de 3,6 V o superior degut a que aquesta funciona a 3,3 V. Pot ser tant una bateria conformada per 3 piles AA o AAA, com una de polímer de liti, la qual seria la més convenient pel fet de que són recarregables i tenen una mida molt més compacta.

A la mateixa pàgina web venen i posen d'exemple la bateria amb les següents característiques:

- Connexió de 2 pins JST-PH, funciona a 3,7V i te una capacitat de 1200mAh. (Figura 46).



Figura 46: Bateria ideal

Aquesta bateria, però, va resultar impossible d'adquirir dins del període d'entrega del projecte, degut als llargs terminis d'enviament i els alts costos d'aquests. S'ha contactat amb nombrosos establiments tant locals com online amb bateries de característiques semblants però finalment ha estat impossible adquirir el producte.

Després de buscar molt l'opció més adequada va ser la de comprar una bateria de cotxes de radio control, ja que en les botigues del sector en tenien de característiques semblants a la que estàvem cercant. Malgrat que compten amb una connexió diferent, vaig pensar que podria improvisar un adaptador que fos compatible a la de la bateria a la que necessitava (2-pin JST-PH). Finalment la bateria adquirida va ser la corresponent a la Figura 47.



Figura 47: Bateria utilitzada

Aquesta és una bateria de polímer de liti, igual que la preferida per la placa base, té també 3,7V i una capacitat menor, de 750mAh, però suficient per a fer les proves. La diferència serà que s'haurà de carregar més sovint però no és un greu inconvenient. El principal problema era el tipus de connexió ja que era també JST de 2 pins però molt més gran i no encaixava apropiadament a la placa.

Passos seguits per adaptar el connector:

1. Desmuntar el connector actual, la dificultat era que els forats de la femella on havien d'entrar els dos pins mascles de la placa eren massa grans i no feien una connexió ferma, a més a més aquests dos pins no es poden tocar entre si i al posar-los dins el connector de la placa amb el mida que tenien feien contacte. (Figura 48).



Figura 48: Connector desmuntat

2. El següent pas va ser amb unes alicates estrènyer el connector per a fer-lo més estret, i, seguidament, recobrir-lo de cinta aïllant per poder mantenir aquesta nova forma i evitar el contacte amb l'altre pin del connector. (Figura 49 i Figura 50)

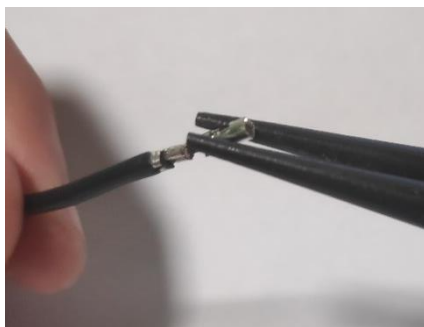


Figura 50: Premsa del connector

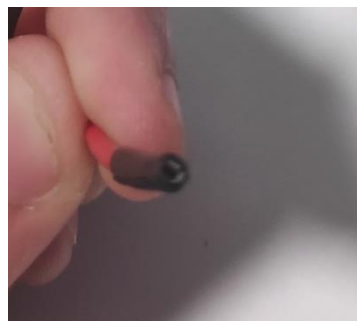


Figura 49: Pin ajustat i aïllat

3. Per últim, acoblar els dos pins i comprovar que encaixen. (Figura 51 i Figura 52)



Figura 51: Conjunt dels dos pins ajustats i aïllats



Figura 52: Connexió final bateria-adaptador

6.2 Pràctic (Càrrega per USB)

El fet d'haver de treure i posar la bateria cada vegada que es descarregava és acceptable com a prototip per a la realització de proves qualitatives, però, com a idea d'elaborar un producte final no. Així que s'ha investigat buscar millors opcions i una d'elles, i la escollida, és la d'integrar un adaptador de càrrega de bateria per USB al aparell. D'aquest n'existeixen de molts tipus però s'ha escollit el que la mateixa pàgina de la placa base recomanava.

USB Lilon/LiPoly charger - v1.2_[19] (Figura 53) és un adaptador de bateria compostat per dos connectors JST de 2 pins, un per a connectar la bateria i l'altre per a connectar el que es vol alimentar (la placa base FLORA). Conté també dos LEDS, els quals avisen quan està en procés de càrrega (LED taronja Figura 54) i quan la càrrega s'ha completat (LED verd Figura 55). A més, com és lògic, inclou el port mini-B USB per a carregar la bateria.

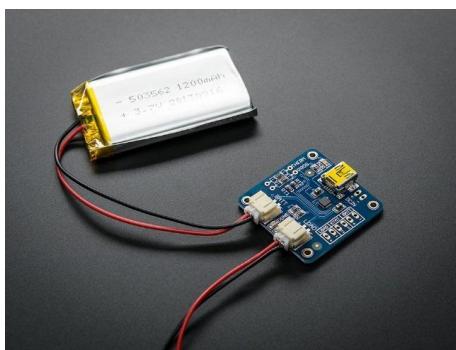


Figura 53: Adaptador bateria - USB

S'ha escollit aquest model donat a que les característiques encaixen perfectament amb la bateria escollida i el que demana la placa.

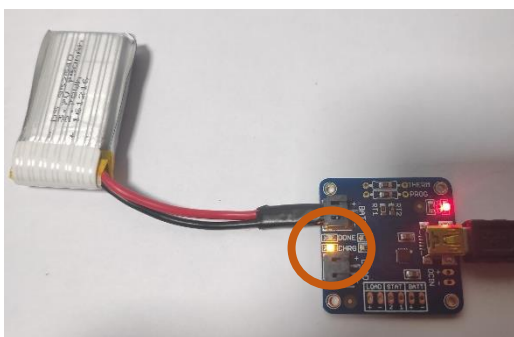


Figura 54: Indicador càrrega en procés

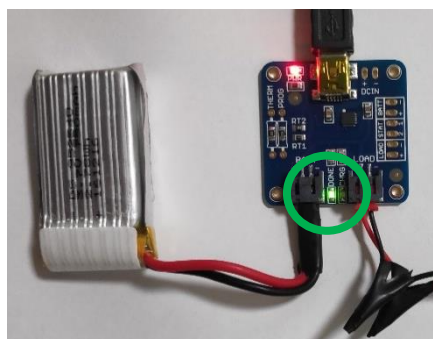


Figura 55: Indicador càrrega finalitzada

Aquest adaptador de bateria disposa d'un cable amb un connector JST de 2 pins a un costat i una punta oberta a l'altre banda. Aquest està pensat per a que el connectis al port de càrrega

per a alimentar el que sigui necessari, però la qüestió és que en el nostre cas s'havia de connectar a una placa base a través d'un altre connector de JST de 2. Així que es va improvisar un cable amb doble connector comprant-ne un altre amb JST i annexant-lo amb el que venia amb l'adaptador. (Figura 56, Figura 57 i Figura 58)

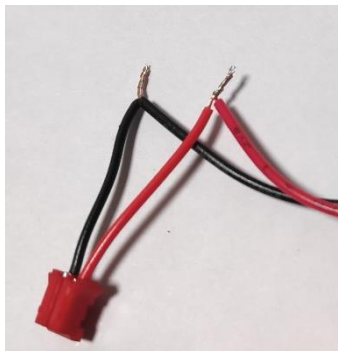


Figura 56: Muntatge cable JST-JST
1



Figura 57: Muntatge cable JST-JST
2

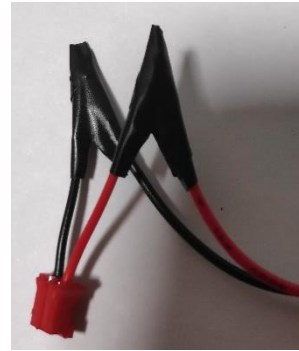


Figura 58: Muntatge cable
JST-JST 3

6.3 Avís/senyalització de presència d'un camp electromagnètic

Per una senzilla aplicació hem de poder avisar als usuaris de l'aparell quan estan o no exposats a les radiacions electromagnètiques de potencia superior al llindar seleccionat, i per indicar-ho posar un LED que senyali quan es sobrepassa. Aquest variarà de potència lumínica com més força tingui el camp al que ens estem apropant.

Per a aquesta instal·lació utilitzarem un LED convencional de 5mm de diàmetre de color verd. S'adaptarà el muntatge anterior per a compactar-lo i poder prescindir de la protoboard. Esquema del disseny il·lustrat a la Figura 59.

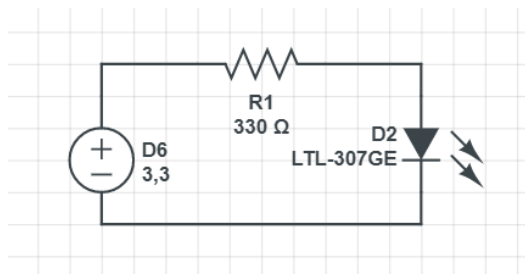


Figura 59: Disseny de la senyalització

Els passos seguits pel muntatge del sistema de senyalització són els següents, mostrats a Figura 60, Figura 61 i Figura 62:

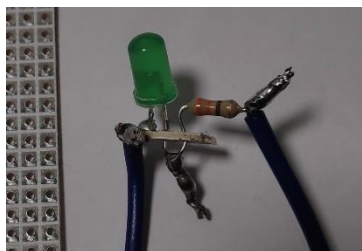


Figura 60: Muntatge senyalització 1



Figura 62: Muntatge senyalització 2

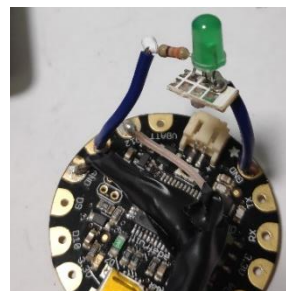


Figura 61: Muntatge senyalització 3

6.4 Carcassa a mida (impressora 3D)

Un cop realitzats tots els passos anteriors, observem com es passa a tenir un prototip útil per a la realització de mesures puntuals i per tenir una orientació de la presència d'un camp electromagnètic. De totes maneres l'objectiu del projecte és l'elaboració d'un aparell incorporable a una peça de roba de manera que permeti la mobilitat completa de qui el porti i s'ha de procurar la màxima comoditat. El contingut de la carcassa es representa a la Figura 63.

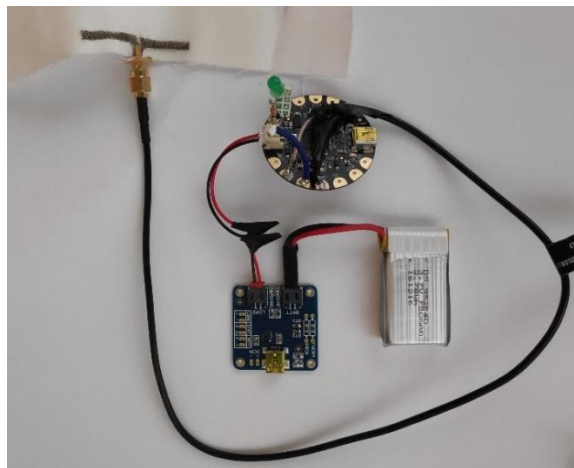


Figura 63: Conjunt del detector

Per a complir amb l'última característica esmenada, la confortabilitat, a l'hora de dur el dispositiu integrat, faltaria dissenyar un embolcall que permeti reunir d'alguna manera tots els components del dispositiu que fins ara estan junts per cables però no compactes. Per buscar una bona manera d'aplegar tots els components i de, alhora, reduir al màxim l'espai que ocupa l'aparell, s'ha pensat en l'elaboració d'una carcassa impresa a mida amb una impressora 3D.

Aquesta carcassa haurà d'estar consolidada per dues parts: una que anirà cosida a la roba de manera fixa i una altra de mòbil que podríem treure i posar de la peça de vestir. És òptim

separar-ho en dues parts de manera que quan s'acabi la bateria no hagi de desprendre't de tota la peça de roba per a deixar-la endollada. Aquest mètode permetrà, a través d'una rosca que unirà les dues parts, separar-la temporalment de la peça de vestir per a deixar el dispositiu carregant-se.

Per a la descripció de les dues parts que componen la carcassa les anomenarem **A** i **B**, sent **A** la banda que va adherida a la roba i **B** la que integra tot l'aparell en si, on hi van fixats tots els components.

A la part **A** de la carcassa haurem de tenir en compte les següents premisses:

- Realització de orificis suficients a l'entorn de la peça esfèrica per a que pugui ser cosida òptimament a la peça de roba.
- Realització d'una rosca específica per a un correcte clipatge que encaixi amb la peça **B**.

La part **B** de la carcassa és la més complexa de dissenyar degut a que és on aniran encaixats tots els components. Aquesta part haurà de comptar amb:

- Un orifici a mida per a la connexió del cable USB utilitzat per a la càrrega de la bateria del dispositiu.
- Un orifici suficientment gran per a permetre al LED de senyalització de presència de camps electromagnètics ser visible en tot moment.
- Dos petits orificis per a permetre la visualització dels leds integrats al adaptador de càrrega de la bateria que indiquen quan la càrrega està en procés i quan està completa.
- Un orifici per on sortirà el connector de l'antena, la qual estarà ja integrada a la roba.
- Un orifici a mida per al connector USB de la placa base de manera que es pugui reprogramar còmodament per si és necessari canviar el valor del llindar o fer qualsevol millora en el programa.

Per al disseny de la carcassa s'utilitza **SOLIDWORKS**_[20], software de disseny assistit per computadora en 3D. Aquest software està dissenyat per a peces i assemblatges en 2D i en 3D.

Per a la impressió de la peça s'utilitzaria una impressora 3D, i seria impresa en filament de plàstic de tipus PLA de 1,75 mil·límetres de diàmetre. Des de el **SOLIDWORKS** s'instal·la el plug-in **Ultimaker Cura**_[21]. Dissenyat per a la comunicació entre Cura i **SOLIDWORKS**. Cura és un software encarregat d'establir la connexió entre model 3D i impressora 3D. Des d'aquest software es pot localitzar el model d'impressora requerit, determinar l'àrea d'impressió i diferents paràmetres com la qualitat d'impressió, velocitat, tipus de material...

Es realitza el disseny de les dues cares A i B mencionades. Dins l'estructura la disposició dels tres components principals connectats entre si estaran posicionats de la manera que mostra l'esbós de la Figura 64, aquests són els components de l'interior de la carcassa, mentre que la antena anirà cosida fora a l'espatlla just a sobre d'on estarà l'aparell. El cercla blau correspon al microcontrolador FLORA, el rectangle negre al adaptador de bateria i el rectangle verd a la bateria.

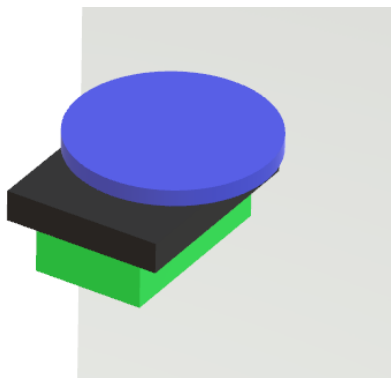


Figura 64: Esbós de la disposició interna de l'aparell

Fent un muntatge provisional de com aniran situats els components es pot fer una mesura de l'espai mínim necessari. Aquest ha resultat ser un cercle de diàmetre de 6,5 centímetres. La forma circular és necessària per a poder incloure una rosca que uneixi i separi les dues parts sempre que sigui òptim.

El grossor mínim del conjunt és de 3,5 centímetres, podent-se reduir molt més aplicant-se les modificacions corresponents.

La part A de la carcassa ha sigut dissenyada tenint en compte les característiques necessàries mencionades anteriorment. Les dimensions escollides corresponen a les d'un cilindre de 6,5 centímetres de diàmetre i un grossor de 2,5 mil·límetres. S'han afegit unes parets laterals de 2,5 mil·límetres més d'alçada i amplada, aquí serà on aplicarem la rosca interna.

En la elaboració d'aquestes figures s'ha de tenir en compte que aquests disseny haurà de ser optimitzat per a la impressió, així que és oportú que totes les connexions entre capes estiguin unides per un cert grossor, ja que és el que tindrà el material per a donar-li una bona resistència.

Per últim s'han afegit els forats per a ser cosida a la roba, ja que aquesta és la peça immòbil que sempre estarà situada al mateix lloc, just a sota de l'antena. S'ha escollit una disposició de 8 forats distribuïts uniformement a un radi des de el centre de la peça de 27,5 mil·límetres i un diàmetre de 2 mil·límetres cada orifici. Tal i com es veu representat a la Figura 65 també s'ha afegit una rosca de 1 mil·límetre de manera que sigui de curt recorregut.

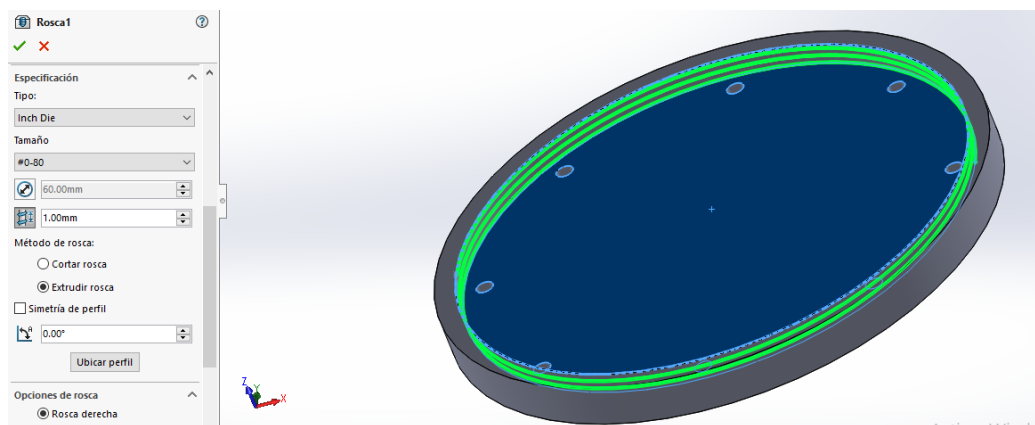


Figura 65: Cara A representació de la rosca

Observem la cara A des de diferents perspectives, podem veure la proporció i aspecte general de la peça (Figura 66) i els orificis realitzats (Figura 67).

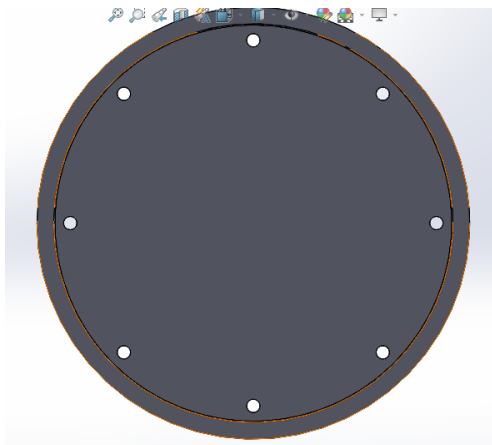


Figura 67: Cara A punt de vista dels forats

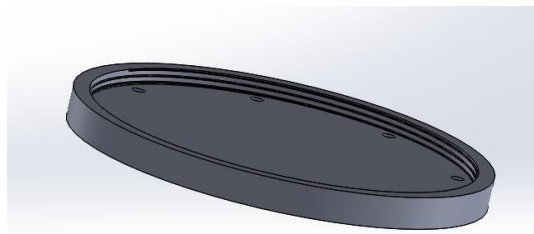


Figura 66: Cara A punt de vista general

Per a la realització de la cara B, s'han hagut de tenir en compte alguns conceptes importants. La connexió d'USB corresponent a la de la càrrega del dispositiu està situada a una lateral pla de l'adaptador de bateria, això significa que si es deixa un espai obert al punt de connexió el connector USB no podrà ser connectat per falta de llargària del connector mascle d'USB, tal com es representa a la Figura 68. De manera que en l'espai on s'ha de connectar és farà una cara plana, tal i com es mostra a la Figura 69.

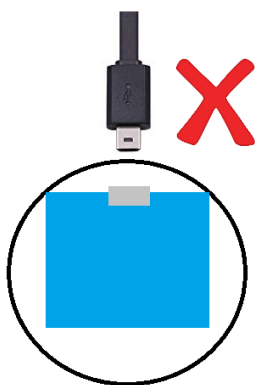


Figura 68: Problema de connexió USB-Adaptador

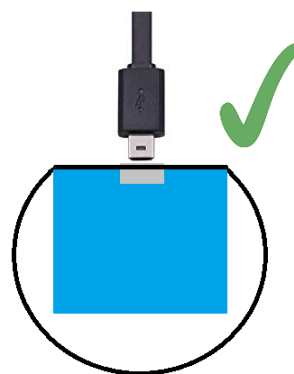


Figura 69: Solució connexió USB-Adaptador

Un altre punt a tenir en compte és el de la elaboració de la rosca, aquesta ha de ser de la mateixa mida i ha d'estar situada a una paret extruïda cap al interior de manera que al fer la rosca entre les cares encaixi perfectament i quedi una connexió hermètica. Aquesta extrusió cap al interior

s'ha fet del mateix grossor que les parets laterals de la cara A (2,5 mil·límetres). Representada a la Figura 70.

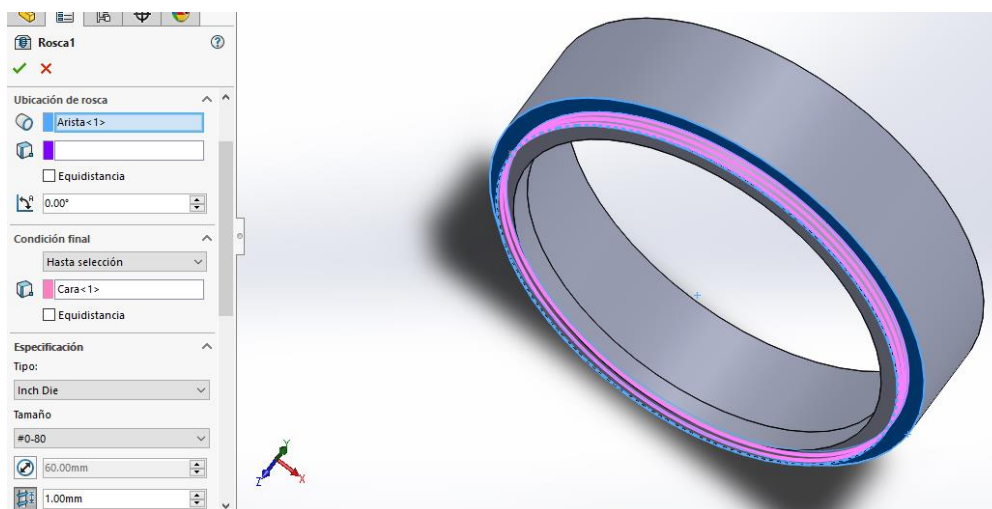


Figura 70: Rosca de la cara B

El problema de fer una banda de la paret plana queda finalment representat de la següent manera (Figura 72). La part completament corba té una alçada de 1,5 mil·límetres, mentre que la part que conté el costat pla té una distància de 2 mil·límetres cap amunt. Aquestes mides es podran reduir, de la manera com estar untat el LED de senyalització i per la mida de la bateria aquesta és la manera més compacte trobada. Vista general de la peça a la Figura 71.

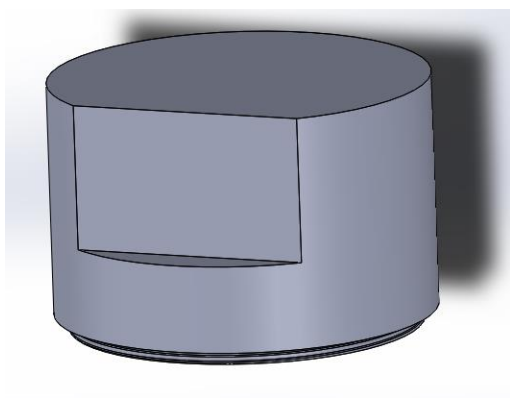


Figura 72: Cara B punt de vista del pla

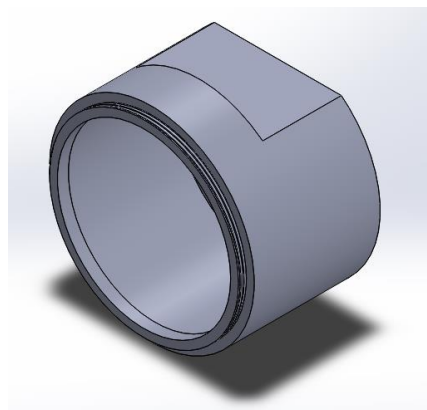


Figura 71: Cara B punt de vista general

El disseny final està complert per a la prova de col·locació de tots els components, encara no s'han realitzat els orificis debut a que com a primera versió és comprovarà l'encaixament i marcaran manualment la situació més òptima dels orificis.

7 Estudi de producte

Per a completar el prototip i poder-lo presentar com a producte acabat es necessari tenir en compte alguns aspectes. La ubicació del aparell és important tenint en compte que és un objecte amb l'objectiu de portar al damunt en tot moment. Establir un preu orientatiu per a saber on es col·locaria dins el mercat i conèixer a partir de quin punt s'obtindrien els beneficis. Per últim sabent els dos punts anteriors es podria conèixer a quin públic ens podem dirigir.

7.1 Ubicació

Un dels principals factors per a la presentació del aparell com a producte és definir la ubicació que tindrà quan està sent utilitzat.

La ubicació pot ser important tant per a la millor precisió i abast de l'antena possible i per a la comoditat màxima del portador.

El primer factor a tenir en compte és que la antena va cosida a una peça de roba, i per tant aquesta haurà de ser una superior. D'aquesta manera evitarem que una altre peça de roba pugui obstruir a la precisió de l'antena. A part d'estar situada el mes superficial possible s'ha d'intentar que amb qualsevol moviment o postura que agafi el portador tampoc interfereixi en el rang de percepció de l'antena. Un exemple de peça exterior podria ser un pantaló, però aquest tindria problemes si la persona portadora adopta una postura en la que l'antena i l'equip poden causar incomoditat, o ara bé si l'usuari s'asseu a un escriptori i la taula tapa la recepció de l'antena.

És pels motius d'assegurar la màxima recepció i la menor obstrucció per a la mobilitat del portador que la ubicació recomanada és la de cosir la antena a l'altura de la clavícula i col·locar l'aparell just a sota a l'altura del pit. La peça de roba escollida hauria de ser una jaqueta o peça de roba exterior que es porti en tot moment, ara bé per exemple com una armilla de treball.

7.2 Cost de producció

Per al càlcul del preu es tindran en compte els costos de hardware i el temps aproximat de dedicació per a la elaboració d'una unitat. Aquest recompte està recollit a la Taula 9.

Per a calcular el preu de l'antena s'han tingut en compte els següents aspectes. L'antena està composta per un substrat de teixit 100% de cotó d'un pes de 204 grams per metre quadrat i un grossor de 0,4 mm. El filament utilitzat és el Shieldex Plated Nylon 117/17 dtex 2 ply de la firma **SHIELDDEX**_[22]. 117/17 dtex 2 ply és equivalent 117 grams x 2 capes per a cada 10.000 metres de filament. En una bobina va 1 kg i el fil esta compost per 17 filaments. De manera que 10.000 metres serien $117 \times 2 \times 17 = 3.978$ grams, per tant en una bobina d'1kg hi ha 2.513 metres i té un cost de 400€. **Cost del filament utilitzat = 0,16€ per metre.**

- Per a la realització de l'antena s'utilitzen 257 puntades de 3 mil·límetres cadascuna, per tant 0,771 metres de filament. Cost del filament utilitzat = $0,771\text{m} \times 0,16€ = 0,12€$.

- El cost del connector SMA femella és de **1,5 €**.
- La màquina de bordar utilitzada és una **Singer Futura XL-550**^[23] i té un cost de 900 €. I el preu per la amortització d'aquesta tenint en compte el temps d'ús i el lloguer diari d'uns 30 € seria de **3€** per antena bordada.

El cost total de producció d'una antena és de **4,62 €**.

A aquesta taula s'incorpora també el cost del material per a la impressió 3D, equivalent a aproximadament **1,25 €** (a 17€ el kg) i **1,5 €** pel cost de la llum i l'amortització de la impressora.

Resum	Quantitat	Preu	Import
Honoraris: Disseny, simulació i muntatge	1 hora	15 € / hores	15 €
Hardware: Placa base FLORA	1 unitat	23 €	23 €
Hardware: Adaptador USB - Bateria	1 unitat	19,95 €	19,95 €
Hardware: Cable coaxial	1 unitat	6,2 €	6,2 €
Hardware: Antena wearable	1 unitat	4,62 €	4,62 €
Hardware: LED verd	1 unitats	0,20 €	0,2 €
Hardware: Resistències varies	2 unitats	0,10 €	0,1 €
Hardware: Cost de la impressió	1 unitat	2,75 €	2,75 €
Total			71,82 €

Taula 9: Càlcul del cost de producció d'una unitat

Aquest cost podria ser reduït a mesura que s'afegissin millores en el disseny i en els materials utilitzats, de igual manera és podria aconseguir els components utilitzats amb un preu més assequible buscant un millor proveïdor i comprant al port major amb més quantitat.

Tenint en compte el **cost de producció de 71,82 €** es podria establir un preu de venda al públic competent aproximat de 93€ contant amb un benefici del 30%.

7.3 Públic objectiu

Tenint en compte que s'ha elaborat un equip que podria ser d'utilitat per a les empreses, no com a aparell de mesura per a la elaboració dels determinats estudis que han de realitzar anualment, però si com a equip de control del compliment de les emissions generades per les seves fonts de radiació electromagnètica d'altres freqüències, útil com a auditoria interna.

Aquest equip tant per preu com per estructura permetria tenir als treballadors equipats per tal de tenir un registre més eficaç i cobrir el màxim d'espai possible de l'entorn d'observació.

De totes maneres, comparant el preu amb alguns equips similar aquest podria ser interessant també per a la adquisició per parts de particulars que estan interessats en saber si es respecten certs nivells dins el seu domicili. Es possible que aquests usuaris no adquireixin un detector per culpa dels preus d'equips similars i pel requeriment d'atenció que aquests necessiten.

Llavors es conclou amb que el producte elaborat té un públic polivalent i podria ser utilitzat en qualsevol dels dos ambients per igual.

8 Pressupost

Per a la realització del pressupost del projecte s'ha realitzat un estudi dels costos definits en detall al DOCUMENT II. Tenint en compte el nombre d'hores invertides en l'estudi i disseny i els costos del hardware i el software.

TOTAL: DISENY, ESTUDI I ELEBORACIÓ D'UNA UNITAT	5.288,52€
TOTAL: ELABORACIÓ D'UNA SOLA UNITAT	71,82 €

Tal com es mostra a la el cost total de la producció d'una sola unitat és de SETANTA-UN EUROS AMB VUITANTA-DOS CÈNTIMS. El cost total de realització del projecte és de CINC MIL DOSCENTS VUITANTA-VUIT EUROS AMB CINCUNTA-DOS CÈNTIMS.

De totes maneres el preu per unitat és en base a les capacitats actuals per a l'obtenció dels components, sense tenir en compte que produït en escala es podrien adquirir els components a millor preu de diferents proveïdors. De manera que el cost de producció seria abaratit.

9 Futures línies

En termes de senyalització de detecció.

Una de les primers millores a fer seria la de canviar el LED verd per un o varis de vermells, es podria fer una progressió de varis leds que es van encenent progressivament en funció de la intensitat que rebem, així com es mostra a la Figura 73. També es canviaria el color verd pel vermell perquè el vermell incita més a atenció i perill o dolent, en canvi el verd incita a bé com a norma general.

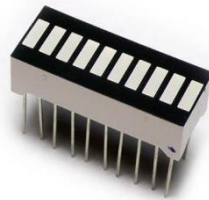


Figura 73: Indicador LED de barra

En termes d'autonomia.

Per a millorar les característiques de autonomia i d'espai ocupat es podria canviar la bateria usada amb una capacitat de 750 mAh i un gruix de 1 centímetre, per la bateria que es volia fer servir inicialment amb una capacitat de 1200 mAh i un gruix menor, concretament de 5mm.

En termes estètics.

Una altre millora que faria del producte un equip més complet seria la de afegir una petita pantalla LCD on es mostraria en tot moment la conversió del nombre que rebem a la mesura d'intensitat del camp en V/m, seguint la formula trobada que estaria programada a la placa base.

Al canviar la bateria i el sistema de senyalització es podria reduir el grossor de l'aparell fins als 2 centímetres en total, el que el faria molt més discret i portable.

Millorar el sistema de rosca per tal de buscar un clipatge instantani i còmode.

En termes de costos.

Per a mirar d'abaratir el cost del producte es buscaria proveïdors per a cadascun dels components i es tractaria d'adquirir els mateixos productes amb un menor cost, comptant que es podrien adquirir amb major escala.

En termes de precisió.

Per a millorar la precisió i el rang de detecció que actualment assoleix el producte es realitzarien mesures a fonts molt més elevades properes als límits de radiació. Per d'aquesta manera poder programar la placa per a qualsevol lliandar superior als 2 V/m. Una altre millora podria ser la d'afegir un mètode per a seleccionar el lliandar a detectar de manera autònoma i intuïtiva.

10 Conclusions

S'ha assolit l'objectiu principal del projecte corresponent a l'elaboració d'un detector capaç de enviar una senyal quan estem rebent un camp electromagnètic superior a un nivell determinat.

Aquest projecte cobreix la detecció de camps amb intensitats d'entre els 0 i 2V/m sense la necessitat de fer noves mesures. El llindar escollit podria ser qualsevol dins aquest rang.

Per a llindars superiors, pròxims als límits que estableixen les organitzacions per a la freqüència de la antena utilitzada de 2,45GHz, de l'ordre de 40-60 V/m es necessitaria fer mesures de comparació entre el que detecta el prototip i un equip professional davant de fonts pròximes a aquests nivells de radiació, ja que no es pot pronosticar a tant llarg alcans havent fet mesures de fonts mes de 50 vegades mes dèbils.

Amb la formula trobada, corresponent a la equació (3), som capaços de fer la transformació directe entre el que rebem al prototip i el nivell d'intensitat en V/m que detecta el mesurador professional.

$$y = \frac{47}{6000} * x - \frac{667}{1200} \quad (3)$$

Qualsevol llindar determinat d'entre els 0 i 2 V/m tindrà una **precisió del +/-5%**.

El prototip com a producte final podem determinar que degut al mercat actual es podria fer un lloc ja que aporta coses que no estan aplicades actualment i en aquest aspecte podria despuntar. Tant en la incorporació en una peça de roba, que permetria no haver d'estar pendent d'una pantalla en tot moment i ni tan sols perdre precisió per tenir-ho a la butxaca, ja que la antena estaria cosida a l'alçada de l'espatlla en una armilla de feina per exemple, de manera que res podria obstruir la recepció.

Tenint en compte el preu que es podria establir de **93 €** també seria un factor competent en el mercat ja que no hauria d'estar destinat tan sols als professionals d'ofici, sinó que podria també ser un producte d'interès per a particulars.

11 Bibliografia

- [1] - We Are Social – Web: <https://wearesocial.com>
- [2] – Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles, OMS, 8 d'Octubre de 2014. Web: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>
- [3] - ICNIRP – Web: <https://www.icnirp.org/>
- [4] - Extech EMF450 – Web: <http://www.extech.com/emf450/>
- [5] – Gigahertz Solutions HFW35C – Web: <https://www.gigahertz-solutions.de/en/messtechnik/hochfrequenz-hf-br-mobilfunk-wifi-dec.../messgeraete-fuer-zuhause-profis/312/hf35c>
- [6] - Gigahertz Solutions NFA400 – Web: <https://www.gigahertz-solutions.de/en/messtechnik/niederfrequenz-nf-br-netzstrom-dirty-power.../messgeraete-fuer-profis-nfa/332/nfa400?number=350-010>
- [7] – WaveControl SMP2 – Web: <https://www.wavecontrol.com/rfsafety/es/productos/medidor-campo/smp2>
- [8] - Reial Decret 1066/2001 – Web: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/09/28/1066/con>
- [9] - Decret 148/2001 – Web: https://dibaaps.diba.cat/scripts/ftpisa.aspx?fnew?cido&dogc/2001/06/20010607/DOGC_20010607_017_022.pdf
- [10] – CTE/23/2002 – Web: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-694>
- [11] – Microcontrolador FLORA – Web: <https://www.adafruit.com/product/659>
- [12] – Adafruit Industries – Web: <https://www.adafruit.com/>
- [13] – Article corresponent a la antena wearable utilitzada – Web: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0040517518770682>
- [14] – Cable coaxial-SMA – Web: https://www.amazon.es/gp/product/B00N98SOA8/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s00?ie=UTF8&psc=1
- [15] – WBAN informació adquirida de – Web: <https://www.waves.intec.ugent.be/research/wireless-body-area-networks>
- [16] – Arduino IDE – Web: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [17] – WaveControl – Web: <https://www.wavecontrol.com/rfsafety/es/>
- [18]- Directiva 2013/35/UE, del parlament europeu y del consell – Web: <https://www.boe.es/doue/2013/179/L00001-00021.pdf>
- [19] – Adaptador de USB a bateria – Web: <https://www.adafruit.com/product/259>
- [20] - SOLIDWORKS – Web: <https://www.solidworks.com/>
- [21] - Ultimaker Cura – Web: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>
- [22] - SHIELDDEX – Web: <https://www.shieldextrading.net/products/yarns-threads/>
- [23] – Singer Futura XL-550 – Web: <https://www.singer.com/Futura-XL-550-Sewing-Embroidery-Machine>

Referències Bibliogràfiques:

- “Revised Electronic Communications Committee Recommendation (02)04” – Per “Electronic Communications Committee” – sobre com es mesuren les radiacions electromagnètiques no ionitzants.

- *“Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields”* -Per *“Radiation and environmental Health department of protection of the human environment world Health organization”* – sobre la afectació dels camps electromagnètics al cos humà.
- *“ICNIRP GUIDELINES”* - Per la *“ICNIRP”* – sobre els estudis dels límits d'exposició recomanats.
- *“Procedimiento de medida de radiaciones no ionizantes”* – Per *l'Àrea de Comprobació Tècnica d'Emissions RRadioelèctriques i la Subdirecció General de la Inspecció de les Telecomunicacions*. – Sobre el procediment per a les mesures i conceptes bàsics teòrics.